

**Untersuchungen zur klinischen Anwendbarkeit des computergestützten
Zahnfarberkennungssystems Digital Shade Guide 4**

INAUGURAL- DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus- Liebig- Universität Gießen

vorgelegt von Marcus Müller
aus Düsseldorf

Düsseldorf 2004

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Paul Ferger
des Universitätsklinikum Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Ferger

Gutachter: PD Dr. Dr. Rödelberger

Tag der Disputation: 07. Juli 2004

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Farben und Farbsehen	7
2.1	Die Farbe	7
2.2	Die Farbwahrnehmung	8
2.2.1	Der Leuchtdichtebereich	8
2.2.2	Farbwahrnehmung und Sinnesverarbeitung im Auge	9
2.3	Entstehung der Zahnfarbe	11
3.	Literaturübersicht	12
3.1	Fehler durch Farbringe bei der Farbbestimmung	12
3.2	Fehler durch Lichteinflüsse bei der Farbbestimmung	14
3.3	Fehler durch Farbfehlsichtigkeit des Farbbetachters	15
3.4	Die richtige Farbauswahl	18
3.5	Erste Versuche, die Farbbestimmung durch instrumentelle Farbmessungen zu verbessern	19
4.	Ziel der Arbeit	25
5.	Material und Methode	27
6.	Ergebnisse	36
6.1	Versuchsreihe 1 – Herstellung von prothetischen Versorgungen nach Maßgaben von DSG 4	36
6.2	Versuchsreihe 2 – Vermessung der fertiggestellten Arbeiten mittels DSG 4 und Vergleich mit den Messungen der Versuchsreihe 1	42
6.3	Versuchsreihe 3 – Messung von Probekörpern bestimmter Keramikfarben	58

7.	Diskussion	70
8.	Zusammenfassung	74
9.	Abstract	75
10.	Literatur	76
11.	Anhang	92
11.1	Danksagung	91
11.2	Lebenslauf	92

1. Einleitung

Die Zahnfarbbestimmung besitzt im Rahmen einer zahnärztlich- restaurativen Behandlung eine entscheidende Bedeutung. Zahlreiche Untersuchungen weisen nachdrücklich auf die bedeutsame Rolle der Farbbestimmung hin. Die Farbbestimmung ist ein Arbeitsschritt von vielen, die zum Erfolg einer prothetischen Versorgung maßgeblich beitragen. Insofern stellt sie ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar und kann dazu führen, dass der Patient bei Vernachlässigung dieses Aspektes den Zahnersatz aus ästhetischen Gründen ablehnt.

Um einen einzugliedernden Zahnersatz in bezug auf Farbe und Ästhetik als gelungen bezeichnen zu können, sind aus zahnärztlicher und zahntechnischer Sicht zahlreiche Kriterien bei der Farbauswahl von Bedeutung. Voranzustellen sind insbesondere die Qualität und Reproduzierbarkeit der verwendeten Farbringe, bzw. des Farbmessgerätes. Ebenso bedeutsam sind günstige Lichtverhältnisse und eine adäquate, reizarme Umgebung. Auch die Fähigkeit des Betrachters, Farben richtig zuzuordnen zu können, ist unabdingbar.

Sind die prothetischen Verblendkronen bzw. Brücken in der Farbgestaltung nicht homogen mit den Nachbarzähnen, mit den restlichen Zähnen oder mit eventuell bereits vorhandenem Zahnersatz, so wird der Patient mit dem ästhetischen Eindruck seines neuen Ersatzes möglicherweise unzufrieden sein und eine endgültige Eingliederung ablehnen.

Aus den bereits erwähnten Gründen sind Zahnarzt und Zahntechniker bemüht, eine exakte Zahnfarbbestimmung durchzuführen und diese in den labortechnischen Ausführungen umzusetzen.

Nach wie vor wird die Farbbestimmung mittels standardisierter Farbringe, die von der Dentalindustrie angeboten werden, durch Abmusterung mit vorhandenen natürlichen Zähne durchgeführt. Hierbei spielen, wie zahlreiche Arbeiten belegen, Licht- und Umgebungseinflüsse sowie der Betrachter eine entscheidende Rolle. Ebenso wurde häufig darauf hingewiesen, dass ein solcher Farbring die Auswahl einschränkt, da nur ein begrenztes Repertoire an Farben vorliegt.

Seit einiger Zeit bemühen sich mehrere Hersteller diese Fehlerquellen zu beseitigen, indem sie Geräte entwickeln, die die Zahnfarbe optisch messen. Hierbei trifft Licht einer genormten Lichtquelle auf den zu bestimmenden Zahn. Das reflektierte Licht wird gemessen und computerunterstützt umgerechnet, so dass eine Zahnfarbe angegeben werden kann.

Als Vorteile dieser Art von Geräten werden die exakte Farbbestimmung auch unter widrigen Lichtverhältnissen, sowie die Angabe von Mischverhältnissen der vorhandenen Grundfarben aufgeführt. Ferner soll der Zahntechniker dahingehend eine Erleichterung in seiner Tätigkeit erfahren, als dass er exaktere Angaben zur Zahnfarbe an unterschiedlichen Messstellen erhält und auf eventuell vorhandene Farbnuancen aufmerksam gemacht wird. Der Farbverlauf eines Zahnes soll auf diese Weise besser nachzuvollziehen sein. Dadurch ist es möglich, Restaurationen besser zu realisieren, um dem ästhetischen Anspruch des Originals möglichst nahe zu kommen.

Es wurden zwei parallel laufende Studien in der prothetischen Abteilung der Universität Gießen durchgeführt.

Die erste Studie hatte das Ziel, die Reproduzierbarkeit des computerunterstützten Farberkennungssystems mittels *Digital Shade Guide 4* der Firma Rieth¹ zu überprüfen. Dabei wurde an zwei Probanden die Farbe des Zahnes 21 von 50 Personen einmal herkömmlich durch einen Farbabgleich mittels Farbring und einmal instrumentell mittels DSG 4 bestimmt. Außerdem wurden an diesen beiden Probanden instrumentelle Farbbestimmungen unter verschiedenen Lichteinflüssen durchgeführt. Ein weiterer Versuch diente dazu die Reproduzierbarkeit der Messungen an beiden Probanden, unter zu Hilfenahme einer Schiene, zu überprüfen. Diese Schiene diente dazu, immer wieder den gleichen Messpunkt auf der Zahnoberfläche sicherstellen zu können.

Die dieser Dissertation zugrunde liegende zweite Studie soll klären, ob es sinnvoll erscheint, im klinischen Alltag eine instrumentelle Zahnfarbbestimmung mittels DSG 4 vorzunehmen, bzw. einen Vergleich zur herkömmlichen Methode mittels Farbringen darzustellen. So sollen Rückschlüsse vor allem auf die klinische Tauglichkeit von DSG 4 gezogen werden.

¹ Im folgenden *DSG 4* genannt

2. Farben und Farbsehen

2.1 Die Farbe

Farben stehen im allgemeinen in keinem einfachen Zusammenhang mit einer physikalischen Größe, da Farben Sinneseindrücke sind und diese individuell unterschiedlich wahrgenommen werden und von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig sind. Voraussetzung für das Entstehen von Farbeindrücken, ist eine Wechselwirkung zwischen Licht, Objekt und Betrachter [50].

Das Wort Farbe wird im täglichen Gebrauch immer wieder unterschiedlich benutzt. Es wird für Anstrichstoffe (z.B. Lacke, Malfarben) verwendet und das Wort Farbe beschreibt auch das Erscheinungsbild von Gegenständen, Flammen, glühenden Metallen o.ä.

Im engeren Sinne ist die Farbe das Merkmal einer vom Auge vermittelten Empfindung, die es möglich macht, unterschiedliche spektrale Zusammensetzung zu identifizieren. Schon vor 4000 Jahren beschäftigte sich Aristoteles mit dem Phänomen Farbe und im Jahre 1660 zerlegte Isaak Newton zum ersten Mal mit Hilfe eines Prismas Licht in seine spektralen Anteile. Um 1800 beschrieben dann Thomas Jung, später Maxwell und Helmholtz die Drei-Farben- Theorie [43,91,95].

Der für den Betrachter auslösende Farbreiz besteht aus elektromagnetischer Strahlung, die im Auge eine neuronale Erregung auslöst. Der für den Menschen sichtbare Spektralbereich elektromagnetischer Strahlung liegt bei Wellenlängen zwischen 400 nm (blau) und 780 nm (rot) [44,52,87,91,95].

Die wichtigste Lichtquelle des Menschen ist die Sonne. Das weiße Licht der Sonne kann mittels eines Prismas in seine spektralen Farben zerlegt werden. Der langwellige Teil des Lichtes erscheint uns rot, der kurzwellige blau-violett. Licht nur einer Wellenlänge wird als monochromatisch bezeichnet.

2.2. Die Farbwahrnehmung

Gegenstände in unserer Umgebung absorbieren bzw. reflektieren Licht unterschiedlicher Wellenlänge mit verschiedener Intensität. Ist die spektrale Reflektans auf alle Wellenlängen des sichtbaren Bereiches verteilt, so erscheinen die Objekte dem Betrachter bunt. Der Unterschied der mittleren Leuchtdichte zweier benachbarter Objekte bestimmt deren Helligkeitskontrast (C), $C=(I_h-I_d)/(I_h+I_d)$, wobei I_h die Leuchtdichte des helleren, I_d die des dunkleren Objektes bezeichnet. Die Wahrnehmung von Farben gründet sich sowohl auf unterschiedliche Hell- und Dunkelkontraste, als auch auf Farbkontraste.

Durch Farbkontraste ist der Mensch in der Lage, Objekte, deren mittlerer Helligkeitskontrast Null ist, voneinander zu unterscheiden. Grüntöne sind dabei besser unterscheidbar als Gelb- und Rottöne, die sich allerdings wiederum als Kontrastfarben gut von Grüntönen abheben [91].

2.2.1. Der Leuchtdichtebereich

Sehen ist in einem relativ großen Energiebereich von etwa $1/10^{11}$ möglich. Bei konstanter Umweltbeleuchtung ist jedoch nur eine Anpassung im Bereich von etwa 1:40 erforderlich. In dieser Größenordnung variiert die mittlere Reflektans (Remissionsgrad) der Oberflächen der meisten Objekte mit Ausnahme von spiegelnden Flächen. Remission bedeutet, dass Licht nicht an der Oberfläche eines Objektes reflektiert wird, sondern erst in den Körper eindringt, dort von dem molekularen Gefüge umgelenkt und dann erst zurückgeworfen wird. So zeigen matte Oberflächen eine stärkere Remission und glatte wiederum eine Reflektion.

In der natürlichen Umwelt des Menschen variiert die mittlere Leuchtdichte zwischen etwa $10^{-6} \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ ($\text{cd} = \text{Candela}$) bei bewölktem Nachthimmel über $10^{-3} \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ bei klarem Sternenhimmel bis zu $10^7 \text{ cd} \times \text{m}^{-2}$ bei Sonnenschein und hell reflektierenden Flächen.

Das visuelle System kann sich durch Adaptationsprozesse unterschiedlichen natürlichen oder auch künstlichen Umweltleuchtdichten anpassen. Die wahrgenommenen Hell- und Dunkelwerte und Farben der Objekte der Umwelt ändern sich auch bei hundertfacher Veränderung der Beleuchtungsstärke nur geringfügig. Diese Unabhängigkeit des Kontrastes und des Farbsehens von der mittleren Beleuchtungsstärke und der spektralen Zusammensetzung des Lichtes zeigt, dass durch neuronale Adaptionsvorgänge des Sehens das Farbsehen verschiedener Objekte durch die spektrale Reflektanz ihrer Oberflächen (spektraler Remissionsgrad) bestimmt wird [45].

2.2.2. Farbwahrnehmung und Sinnesverarbeitung im Auge

Beim Sehen, bzw. beim Farbsehen wird die elektromagnetische Strahlung im Bereich zwischen den Wellenlängen 400 und 750 nm durch die Pupille auf die lichtempfindliche Netzhaut projiziert. Dadurch wird dort eine Empfindung ausgelöst [50].

Der Farbeindruck ist davon abhängig, in welchem Wellenlängenbereich die einfallende Strahlung eine erhöhte Intensität aufweist.

Der normale menschliche Farbensinn erlaubt unter gewissen äußeren Bedingungen die Unterscheidung von weit über hundert Farben. Der normale Farbensinn kann fast alle Farben aus den Komponenten rot, grün und blau durch geeignete Mischung herstellen. Dies wird als trichromatisches (dreifarbiges) System bezeichnet.

Das Auge besitzt nicht wie ein Prisma die Fähigkeit das einfallende Licht in seine einzelnen Spektralbereiche zu zerlegen. Werden dem Auge alle Wellenbereiche des sichtbaren Lichtes mit gleicher Intensität präsentiert, so entsteht der Farbeindruck weiß, der je nach Intensität als Grauton interpretiert wird.

Die verschiedenen Grautöne werden wiederum in der Farbmeterik als „unbunte Farben“ beschrieben. Bunte Farben hingegen entstehen dann, wenn ein Teilbereich des sichtbaren Lichtes, bzw. dessen Wellenlängen mit entsprechend höherer Intensität angeboten werden.

Die Adaption an unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen der Umgebung wird durch zwei retinale Rezeptorentypen mit unterschiedlicher Absolutschwelle erleichtert. Zum einen sind es die Stäbchen der Netzhaut, mit denen bei Sternenlicht gesehen wird (skotopisches Sehen), zum anderen sind es die Zapfen, mit denen man bei Tageslicht sieht (photopisches Sehen). Während des skotopischen Sehens nimmt man verschiedene Helligkeitsstufen wahr, kann jedoch keinen Farbunterschied bemerken. Im Gegensatz zum photopischen Sehen, bei dem man Objekte in Farb- und Hell- Dunkelwerte zu unterscheiden vermag. Die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Sehapparates besitzt für das skotopische Sehen einen Höhepunkt bei etwa 500 nm und beim photopischen Sehen bei etwa 555 nm. Der Übergang vom photopischen zum skotopischen Sehen, beispielsweise bei einsetzender Dämmerung, wird mesopisches Sehen genannt [91].

Die Rezeptorenschicht des menschlichen Auges besteht aus etwa 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen [44,52].

Das Außenglied der Rezeptorzellen besteht aus einigen hundert Membranscheibchen (Stäbchen) und Membraneinfaltungen (Zapfen). Die Moleküle der Sehfärbstoffe sind regelmäßig in die Lipiddoppelschicht der Außenglieder eingelagert. Rhodopsin ist der Sehfärbstoff der Stäbchen.

Der Transduktionsprozeß des Sehens wird durch Lichtquantenabsorption in den Sehfärbstoffen der Photorezeptoren eingeleitet. Dadurch kommt es zu einem mehrstufigen Zerfall des Sehfärbstoffes. Es entsteht Metarhodopsin II, welches in eine intrazelluläre Enzymkaskade eingreift und über ein G-Protein der Photorezeptormembran die cGMP-Konzentration reduziert und so durch eine Belichtung eine Hyperpolarisation des Membranpotentials auslöst. Bei Verdunkelung dagegen wird eine Depolarisation eingeleitet. Dieser Reaktionstyp unterscheidet sich in seinem Verhalten dadurch von Rezeptoren anderer Sinnessysteme.

2.3. Entstehung der Zahnfarbe

Der primäre Farbeindruck eines natürlichen Zahnes entsteht durch Brechung und Reflexion des einfallenden Lichtes an den an sich farblosen Kristallen des Schmelzes und Dentins. Ein Teil des auftreffenden Lichtes wird an der Oberfläche des Zahnes reflektiert, teilweise dringt es in den Zahn ein. Das in den Zahn eindringende Licht wird an den Prismen des Dentins und den Kristallen des Schmelzes gestreut. Größe und Struktur der Kristalle bestimmen die Farbentstehung. Der feinkristalline Schmelz erzeugt einen Grau-Ton und das prismatische Dentin einen Gelb-Ton.

In der Literatur wird darüber berichtet, dass die Zahnfarbe altersbedingt eine Veränderung durch eine Verschiebung des Brechungsindex zwischen Schmelz und Speichel aufgrund von einem erhöhtem Stickstoffgehalt und durch Mikrosprünge im Schmelz erklärt. Außerdem wird die Zahnfarbe durch Ablagerungen von Blutfarbstoffen im Dentin beeinflusst [98].

Auch die Mundhygiene und die individuellen Lebensbeeinflüsse wie z.B. Nikotin-, Rotwein- und Kaffeekonsum oder Füllungen, in dessen Randspalt sich rasch Partikel ablagern, können eine erhebliche Veränderung der Zahnfarbe hervorrufen [31,42,112,87].

3. Literaturübersicht

Die Farbbestimmung ist ein wichtiger Parameter in der zahnmedizinischen Prothetik im Rahmen der Herstellung von Zahnersatz. Heutzutage fordert jeder Patient, motiviert durch seine Umgebung wie z.B. Familie, Werbung und Film, einen ästhetisch hochzufriedenstellenden Zahnersatz. Ein Zahnersatz, der allen anderen Qualitätsansprüchen gerecht wird, aber den ästhetischen Ansprüchen des Patienten nicht entspricht, wird in der Regel abgelehnt.

3.1. Fehler durch Farbringe bei der Farbbestimmung

Die exakte Bestimmung von Farben ist ein komplexes Problem. Um ästhetisch befriedigende Ergebnisse zu erlangen, wurde in der Vergangenheit die Farbbestimmung mittels sogenannter Farbringe vorgenommen. Diese werden von den Herstellern der Keramikverblendmassen auf dem Dentalmarkt angeboten und beziehen sich auf die eigene Farbpalette. Daher ist man gezwungen, den Farbring der Firma zu benutzen, deren Keramikmassen vom Techniker verwendet werden. Am häufigsten werden die Keramikmassen der Firmen Biodent, Vita und Ivoclar verwendet. Diese Farbringe wurden an Hunderten von Patienten getestet und repräsentieren Mittelwerte der am häufigsten vorkommenden Farben, wobei jedoch eine Untersuchung zeigte, dass die Farbringe nicht die mittlere Zahnfarbe wiedergeben [42,89].

Weitere Untersuchungen zeigten, dass Zahnärzte meist nur eine gewisse Anzahl der ihnen zur Verfügung stehenden Farben nutzen. Daher werden oft nur Standardfarben verwendet wie beispielsweise Biodent 21, 22, 24 oder Vita A 3,5; C2; D2; D3.

Ein weiteres Problem bei der Benutzung von Farbringen liegt darin, dass es prinzipiell nicht möglich ist, die drei Parameter Farbton, Helligkeit und Sättigung mit dieser Methode gleichzeitig zu bestimmen.

Neuerdings gibt es Bestrebungen der Firmen, dieses Problem auch mit Farbringen zu lösen. Indes stoßen auch diese Lösungsversuche schnell an ihre Grenzen.

Des weiteren entsprechen die Keramikmassen der Farbringe nicht den Aufbrennkeramikmassen im Detail. Die Zusammensetzung in bezug auf die Fluoreszenzstoffe variiert, da sie bei unterschiedlichen Temperaturen gebrannt werden. Auch ist die Ästhetik dahingehend nicht vergleichbar, da bei Farbringen ein Zahnhalsmuster vorhanden ist, das für die eigentliche Farbbestimmung des Grundfarbtones der mittleren Zahnfläche eher hinderlich ist. Auch die Schneiden der Farbmuster sind transparent und zu breit gestaltet. In der Natur würde man solche Schneidekanten nur bei jugendlichen Personen finden, aber nicht bei prothetisch zu versorgenden meist älteren Patienten, wo durch Abrasion und Attrition die Anatomie des Zahnes schon dahingehend verändert ist, dass die Schneidekante nicht mehr in der jugendlichen Form vorliegt. Daher muss man eigentlich den Grundfarbton des Zahnhalses und der Schneidekante gesondert bestimmen. Aus diesen Gründen wurde in der Literatur bereits darauf hingewiesen, dass die Farbringe individuell nachgearbeitet werden sollten. Es wird empfohlen, Zahnhals und Schneidekante an den Musterzähnen zu entfernen, um nur noch den mittleren repräsentativen Farbton der entsprechenden Keramikmasse zu haben [42].

Außerdem bleichen die Farbringe mit der Zeit aus und verändern somit ihre ursprüngliche Farbe, was als weiteres Problem zu werten ist.

Eine zusätzliche Fehlerquelle der Farbbestimmung ergibt sich aus dem Herstellungsprozess der Farbringe, indem nicht für die Gleichheit der Farbmuster, bedingt durch Herstellungsfehler, garantiert werden kann. Sie stimmen mit den Keramikfarben auch dahingehend nicht überein, da sie kein metallenes Gerüst haben und daher nicht mit einer Aufbrennkeramik auf einem Metallgerüst in ästhetischer Hinsicht exakt übereinstimmen.

3.2. Fehler durch Lichteinflüsse bei der Farbbestimmung

Die Farbbestimmung bei günstigen Lichtverhältnissen ist eine Grundvoraussetzung. In der Literatur wird angegeben, man solle die Farbwahl vormittags um 11 Uhr im Frühjahr oder Herbst, bei unbewölktem Himmel am Fenster treffen. Tageslicht hat ein deutliches Intensitätsmaximum im grünen Bereich, also zwischen 450 nm und 550 nm. Da diese Anforderung sicherlich nur schwer erfüllbar ist, wird auf adäquate Lichtquellen hingewiesen, wie beispielsweise Tageslichtlampen der Firmen Osram und Phillips [42,43,50].

Diese Tageslichtlampen werden als Leuchtstoffröhren auf dem Markt angeboten. Lichtquellen, die dieses Tageslicht in etwa nachbilden, werden mit D65- nach DIN 5033 auch als Normlicht C bezeichnet- beschrieben. Wichtig bei diesen Lichtquellen ist die richtige Farbtemperatur, da der Farbeindruck sich mit dieser verändert. So erscheinen Zähne bei 5500 Grad Kelvin weiß und verändern sich bei 4200 Grad Kelvin ins Gelb-grünliche. Die optimale Temperatur, die das mittlere Tageslicht widerspiegelt, sollte bei 6500 Grad Kelvin liegen. Diese Gradzahl ist nur mittels speziellen Tageslicht-Leuchtstoffröhren zu erreichen. Normale Glühlampen und herkömmliche Leuchtstoffröhren erreichen nur Temperaturen bis zu 3000 Grad Kelvin bzw. 4000- 5500 Grad Kelvin. In der DIN 5033 sind alle Normlichtarten beschrieben [21,31,87].

Man kann Farben nur bei entsprechender Beleuchtungsstärke erkennen. Diese soll nach DIN 76505 auf der Zahnfläche 1200 bis 1500 Lux betragen. Liegt die Beleuchtungsstärke über 1500 Lux, kann man Farbnuancen nur noch schlecht differenzieren. Daher ist es ein großer Fehler, die Operationsleuchte am Stuhl zur Auswahl der Farben heranzuziehen, da sie mit etwa 8000 Lux die Zähne entscheidend zu hell erscheinen lässt [3].

3.3. Fehler durch Farbfehlsichtigkeit des Farbbetrachters

Die Farbauswahl ist nicht zuletzt vom Betrachter abhängig, der Zahnfarbe und Musterzahn des Farbringes vergleichen und entsprechend richtig zuordnen muss.

Demzufolge muss als Grundvoraussetzung eine Normalsichtigkeit des Farbbetrachters besonders in bezug auf Farbsehen vorliegen. Aus diesem Grunde sollte jeder, der Farben bestimmen möchte, sich diesbezüglich einem Farbtest unterziehen [9,38].

Die Ursache für Farbfehlsichtigkeiten liegt in angeborenen, sowie erworbenen Störungen.

Die Angeborenen gehören zu den intensivst erforschtesten Erbkrankheiten. Dabei handelt es sich nicht um einen krankhaften Prozess, sondern um eine seit Geburt bestehende unveränderliche und unbeeinflussbare Eigenschaft. In der Literatur wird angegeben, dass 8% der männlichen und 0,5% der weiblichen Bevölkerung diese Farbenfehlsichtigkeiten aufweisen [23,87].

Die angeborenen Störungen können mit einigen wenigen Ausnahmen in ein Schema eingeordnet werden, dem die erworbenen Störungen in groben Zügen folgen.

Vereinfacht werden folgende Typen unterschieden:

A) Monochromasie (totale Farbenblindheit, Acromasie)

Der an einer Monochromasie leidende Mensch unterscheidet nur Varianten zwischen Schwarz und Weiß. Vergleichbar mit einer Schwarzweiß-Fotografie. Bunte Farben werden nicht wahrgenommen, sondern nur als Grauabstufungen erlebt.

B) Dichromasie (Zweifarbensehen)

Diese Abweichung wird im täglichen Gebrauch oberflächlich als Farbenblindheit bezeichnet, da es sich bei dieser um die am häufigsten anzutreffende Farbenfehlsichtigkeit handelt.

Der Betroffene erlebt den Ausfall einer der drei Grundspektralwertkurven. Diese Störung wird in drei Untergruppen unterteilt, die nach der Reihenfolge im Spektrum benannt werden:

- Protanopie („Rotblindheit“)
- Deutanopie („Grünblindheit“)
- Tritanopie („Blaubindheit“)

Die Farbenerlebnisse der Betroffenen beschränken sich daher auf die Varianten zweier bunter Farben und von Schwarz und Weiß mit Grauvarianten.

C) Anomale Trichromasie (Anomales Dreifarbensehen)

Es werden sehr viel Farben erlebt, jedoch eine der drei Komponenten ist unterrepräsentiert. Um in einer Mischung von Farben das gleiche Farberlebnis zu haben, wie ein Normalfarbtüchtiger, muss der anomale Trichromat mehr der unterrepräsentierten Farbe anteilig zumischen. Dadurch würde diese vom Trichromaten gemischte Farbe dem Normalsichtigen mit einem entsprechenden „Farbstich“ erscheinen.

Untergruppen der Anomalen Trichromasie sind:

- Protanomalie („Rotschwäche“)
- Deutanomalie („Grünschwäche“)
- Tritanomalie („Blauschwäche“)

Da die Grenzen zwischen den einzelnen Farbfehlsichtigkeiten nicht eindeutig und von untergeordneter Bedeutung sind, fasst man in der Praxis die Gruppen der Dichromasie und Trichromasie wie folgt zusammen: Protanope und Protanomale zu Protane, Deutanope und Deutanomale zu Deuterane und Tritanope und Tritanomale zu Tritane.

Angeborene Tritanen spielen zahlenmäßig nur eine geringe Rolle. Monochromaten sind ebenfalls sehr selten, fallen aber schon oft durch andere Abweichungen, wie schlechte Sehschärfe, Nystagmus, Lichtscheue, Albinismus und andere Abweichungen auf [3].

Die erworbenen Farbensinnstörungen lassen sich nur schwer einordnen. Sie beinhalten schließlich alle Übergänge zwischen gutem Sehen und Blindheit. Es handelt sich um krankhafte Prozesse oder deren Folgen, die sich verschlimmern oder auch verbessern können. Für das Erkennen von Krankheiten oder Vergiftungen können diese Anzeichen bedeutend sein. Normalerweise führen nicht erworbene Farbensinnstörungen den Patienten zum Arzt, sondern Sehstörungen anderer Art.

Außerdem können falsche Farbbeurteilungen bei physischer oder psychischer Beeinträchtigung des Farbbetrachters entstehen.

3.4. Die richtige Farbauswahl

Um die richtige Farbwahl mit Farbringen treffen zu können, muss daher den oben genannten Problemen Rechnung getragen werden.

Zusammenfassend wird daher gefordert, möglichst neue Farbringe zu benutzen und diese eventuell nachzuarbeiten, d.h. in der Form, dass man Schneidekanten und Zahnhälse entfernt.

Des weiteren sollte bei der Abmusterung der Patient dazu angehalten werden, kein kräftiges Make-up, so wie keine bunten Kleidungsstücke zu tragen, da das Aussehen einer Farbfläche ebenfalls von deren Umgebung beeinflusst wird. Der Beobachtungsabstand des Betrachters zum Zahn sollte etwa 30- 40 cm betragen. Ebenso ist die Anforderung einzuhalten, Lichtstärken von etwa 30 cd pro m² zu verwenden, da das Farbsehen erst dadurch möglich wird. Ideal ist diffuses Tageslicht oder eine Tageslichtlampe in der Form, wie sie oben beschrieben wurde [42,31,112].

3.5. Erste Versuche, die Farbbestimmung durch instrumentelle Farbmessung zu verbessern

Trotz aller Bemühungen geschieht es in der Zahnärztlichen Praxis, dass prothetische Versorgungen hinsichtlich ihrer Ästhetik nicht den Erwartungen entsprechen. Gründe dafür sind unter anderem darin zu finden, dass nicht immer alle Anforderungen bei der Farbwahl optimal eingehalten werden können und die Farbbestimmung in der zahnärztlichen Ausbildung nur wenig Berücksichtigung findet [90]. Dies verursacht zusätzlichen Zeit- und Arbeitsaufwand, der Patient ist unzufrieden und letztendlich sollte auch der weitere Kostenaufwand durch notwendige Korrekturen nicht unerwähnt bleiben. Die Industrie bemüht sich daher seit geraumer Zeit, Geräte zu entwickeln, die unabhängig von äußeren Einflüssen und individueller menschlicher Fehlerquellen eine exakte Farbbestimmung möglich machen.

Erste methodische Ansätze zur Objektivierung der Farbmessung sind in der Nutzung von Spektrophotometern zur Remissionsphotometrie zu sehen. Um eine metrische Bewertung der Farben unter Ausschaltung subjektiver Faktoren bemüht sich das 1931 entwickelte CIE– System (Commission Internationale de l'Eclairage). In diesem System werden die Farbwerte durch Helligkeitsmessung der Farbe in drei Valenzen direkt gemessen. Als Farbvalenz wird der Wert des Farbreizes für die additive Farbmischung verstanden. Ausgangspunkt ist die von Helmholtz 1911 begründete Theorie der Trichromatischen Farbdarstellung [39,50,67,107].

Nach dieser Theorie ist jede Farbe aus den drei Grundfarben rot, grün und blau mischbar. Den jeweiligen drei Grundfarben entsprechen drei Reizzentren im Auge, deren Sensibilität über die Breite des Spektrums in experimentell ermittelten Norm-Spektralwertkurven verläuft. Die gemessenen Norm-Farbwerte X, Y und Z stellen die absoluten Anteile der drei Farbvalenzen rot, grün und blau am Ergebnis der additiven Farbmischung dar. Auf dieser Theorie basiert das CIE-Lab-System [21].

Die Helligkeit einer Farbe wird dabei durch den L-Wert charakterisiert. Dieser L-Wert kann Werte zwischen 0 (Schwarz) und 100 (Weiß) annehmen.

Die a- und b- Werte beschreiben sowohl den Farbton, als auch die Sättigung und beschreiben eine Position auf zwei Farbachsen, wobei a der Rot-Grün-Achse und b der Gelb- Blau- Achse zugeordnet ist. So zum Beispiel beschreibt ein positiver a-Wert einen roten, ein negativer einen grünen Farbton. Ein gelber Farbton wird durch einen positiven b- Wert bezeichnet, ein blauer Farbton durch einen negativen. Je größer der Betrag des jeweiligen Wertes, d.h. je größer die Zahl nach dem Vorzeichen, desto größer ist die Sättigung. Farbabstände werden im CIE- Lab- System durch den ΔE_{ab} -Wert beschrieben. Die dazugehörige Farbstandsformel lautet: $\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$. Dabei ist zu beachten, dass ΔL bei zahnfarbenen Materialien zumeist größere Werte als Δa oder Δb annimmt, und somit bestimmend für die Größe von ΔE ist.

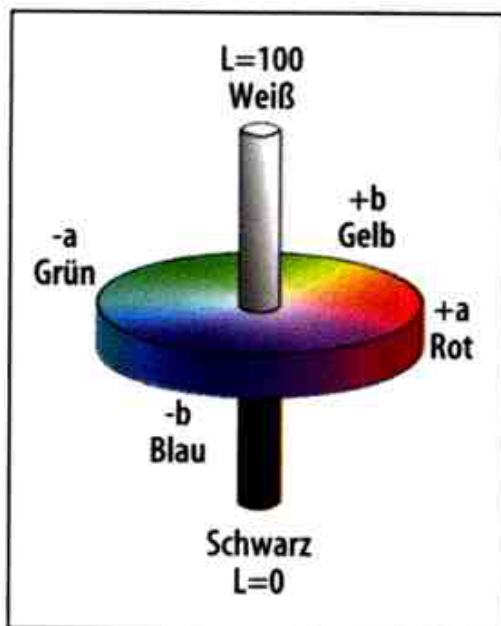


Abb. 1: Lab- Farbsystem

Wie die Abb. 1 zeigt, wird jede Farbe erstens durch ihre Helligkeit, d.h. ihre Position auf der L- Achse, zweitens durch ihren Farbton, d. h. die Position auf der a- b- Achse, und drittens durch die Farbintensität, d.h. der Abstand der Unbunt- Achsen zueinander beschrieben. Die L- Achse ist in 100 Einheiten aufgeteilt, wobei null schwarz und 100 weiß ist.

Die Zahnfarben natürlicher Zähne finden sich nur in einem kleinen Segment wieder. Natürliche Zähne sind sehr hell, der L-Wert schwankt zwischen 60 und 80, die Intensität ist recht schwach, also nahe der Unbuntachse. Die Farbtöne befinden sich im rötlich- gelben Bereich [99].

Aufbauend auf diesen theoretischen Hintergründen sind von Swinson 1971 und Roll 1976 Colorimeter für zahnärztliche Materialien entwickelt und zum Patent angemeldet worden. Das Gerät Chromascan der Sterndent, Ohio, USA, wurde bekannt. In der Literatur sind erste Studien mit diesem Farbmesser, welcher eigentlich ursprünglich für die Textil-, Druck- und Farbenindustrie gedacht war, postuliert [90].

Eine dieser Studien untersuchte spektrophotometrisch den Einfluss verschiedener Schichtstärken und das wiederholte Brennen der Keramiken auf die Farbe. Es wurde deutlich, dass das wiederholte Brennen der Keramik keinen Einfluss auf die Qualität der Farbe ausübt. Anders ist es bei der Schichtstärke. Dort zeigten die gemessenen Schichtstärken von 1 mm und 2 mm, dass die Farbqualität mit einer Zunahme der Schichtstärke ansteigt [49].

Diese Erkenntnisse wurden in einer anderen Studie mit dem Farbmessgerät Castor® (Nordmeditech GmbH, Flensburg) ebenfalls untermauert. Dabei wurden keramischverblendete Plättchen mit einer Schichtdicke der Keramik von 0,5 bis 1,4 mm hergestellt. Es zeigte sich in den Ergebnissen, dass der Glanzbrand keine Auswirkungen auf die Farbe hatte, jedoch mit zunehmender Probenstärke sich die Helligkeitswerte veränderten und bei einer Schichtstärke von 1,4 mm hatte der Metallhintergrund kein Einfluss auf die Helligkeit, so dass nur die Eigenhelligkeit der Keramik zutragen kam [27,4].

Aufbauend auf diese Studie befasste sich eine weitere mit gebrannten Keramiken der Farben A3 und B1, d.h. mit den Auswirkungen von Opaker, der Oberflächenbeschaffenheit und der Schichtstärke von Keramiken.

Dabei wurde der Opaker einmal glänzend und trübe, die Keramiken einmal rau und glatt und die Schichtstärke je in 1 mm und in 2 mm hergestellt.

Das Ergebnis zeigte bei der Porzellanoberfläche, ob glatt oder rau, in der Farbe keinen Unterschied. Der glänzende Opaker zeigte seine Wirkung, indem er die Farbe A3 von gelb zu gelbbrot und B1 zu einem gelberen Farbton umwandelte.

Des weiteren wurde deutlich, dass die Farbsättigung bei der Farbe B1 größer für den trüben als für den glatten Opaker ist. Bei der Farbe A3 ergab sich außerdem ein Zusammenhang zum trüben Opaker und der glatten Oberfläche, da dort ein Rückgang der Farbsättigung festgestellt wurde.

Die Helligkeit hatte einen zusätzlichen Effekt durch den Opaker und der Keramikoberfläche bei der Farbe A3. Die glatte Oberfläche der Farbe B1 zeigte im Vergleich zur rauen Oberfläche einen Rückgang der Helligkeit.

Die Quintessens dieser Studie ist, dass die Oberflächenbeschaffenheit der Keramik und des Opakers ein komplexes Phänomen ist, welches sowohl bei der Herstellung von keramischen Arbeiten als auch bei der Farbmessung berücksichtigt werden sollte [72].

Goodkind et al. berichteten 1985 über eine Studie, in der 100 extrahierte Zähne mit dem Chromascan Farbmesser gemessen wurden. Das Ergebnis der Studie war, dass die Werte nur geringe Unterschiede zu vorher gemessenen Keramiken aufwiesen. Das positive Ergebnis dieser Studie ermutigte ihn, eine in- vivo- Studie durchzuführen, bei der 2830 Frontzähne des Ober- und Unterkiefers gemessen wurden. Beide Studien wurden unter den Aspekten der Farbe, Hue, Value, Chroma, Ort der Messung auf dem Zahn und demographischen Aspekten wie Zahnposition, Geschlecht, Alter, Haar- und Augenfarbe, sowie Geburtsort untersucht. Es konnte kein Zusammenhang zwischen Zahnfarbe und Geburtsort, Haarfarbe oder Augenfarbe festgestellt werden. Unterschiede fand man allerdings beim Geschlecht, wobei weibliche Personen überwiegend gelblichere, hellere und weniger gesättigte Farben haben im Gegensatz zu männlichen Personen. Altersbedingte Unterschiede in der Zahnfarbe zeigten sich ab einem Alter von 35, indem die Zähne etwas dunkler, röter und mehr gesättigt gemessen wurden. Unterschiede der Zahnfarbe in Abhängigkeit der Zahnposition wurden darüber hinaus festgestellt, z.B. ist die Farbe für die Oberkiefer- Frontzähne gelber als die von Unterkiefer- Frontzähnen und der Oberkiefer- Eckzahn ist etwas dunkler als der Rest der Frontzähne [34,89,98].

Um Rückschlüsse aus den Messungen in vivo auf die Qualität der Farbringe ziehen zu können, wurden die ermittelten Farbwerte in dem LAB- System der natürlichen Zähne mit den Farbwerten der herkömmlichen Farbringe der Firmen Vita Lumin Vacuum Shade Guide (Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland) und Trubyte Bioform Color Ordered Shade Guide (Dentsply International Inc., York, Pa.), sowie ein selbsthergestellter Farbring nach den Angaben von E. B. Clark ebenfalls mit einbezogen und verglichen [93].

Die gewonnenen Ergebnisse zeigten, dass die Farbringe die Farbe in der Mitte der facialen Fläche nicht eindeutig wiedergeben. Hierbei wurden nur die helleren, gelberen und mehr farbgesättigten Zähne gemessen. Die dunkleren, rötlichen Zähne fanden keine Berücksichtigung.

Wie schon in vorher veröffentlichten Messungen sind die Farbringe zu gelb, im Vergleich zu den natürlichen Zähnen [54,60,84].

Um diesen Ergebnissen gerecht zu werden, wurde in einer weiteren Studie nachgeprüft, inwieweit sich die Farben der Keramiken durch Beimischung von metallischen Oxidpigmenten verändern lassen. Dabei wurde anschaulich, dass sich Keramiken mit Hilfe von diesen Pigmenten so verändern lassen, dass sie in ihrem Farbton den natürlichen Zähnen nahezu gleichen [57].

Ein weiteres in der Literatur beschriebenes Farbmessgerät wurde von der Friedrich- Schiller- Universität in Jena in Zusammenarbeit mit der VEB Carl Zeiss Jena als Prototyp hergestellt. Es arbeitete nach dem gleichen Prinzip wie das oben erwähnte Chomascan- Farbmessgerät. Es wurden die Spektralwerte X,Y und Z gemessen, aus diesen wurden die Normspektralwertanteile x und y berechnet und in das CIE- Farbdreieck eingezeichnet. Dieses Gerät diente dazu, erste Erfahrungen mit Farbmessungen an Composite- Materialien und Vita- Lumin- Vacuum- Zähnen machen zu können, und einen Leistungsvergleich mit dem Chomascan Farbmessgerät durchzuführen [70,71].

Das beschriebene Chomascan- Gerät sowie andere Farbmessgeräte arbeiten nach dem Prinzip der Messung der Spektralkurven und deren Umrechnung in das CIE- Labsystem. Ihre Ergebnisse sind alle sehr präzise und reproduzierbar, jedoch sind diese für die tägliche Farbbestimmung in der Zahnmedizin nur schwer einzubeziehen, da ein fundiertes Wissen in der Farbmeterik erforderlich ist [2].

Ebenso ist die Zahnfarbangabe im CIE- Labsystem für den Zahntechniker bei der Herstellung von prothetischen Verblendungen nicht nutzbar. Aus diesem Grunde hat die Weiterentwicklung dieser Farbmessgeräte das Ziel, die Farbmessung dahingehend zu vereinfachen, einem zu messenden Zahn keine Werte im LAB- System zuzuordnen, sondern die Farbe in einem ausgewählten Farbmuster wie z.B. Vitapan® Classical Farbring anzugeben.

Ein nach diesem Prinzip arbeitendes Gerät wurde in dieser Studie klinisch getestet.

4. Ziel der Arbeit

Die Übereinstimmung der Farbe von natürlichen und künstlichen Zähnen stellt ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar. Die individuell unterschiedlichen Farbempfindungen des einzelnen Betrachters werden eher als subjektiv bewertet, und es ist außerdem nicht möglich, mit den Farbringen Farbton, Helligkeit und Sättigung sowie die Transparenz der Schneide getrennt zu bestimmen.

Eine Möglichkeit der Farbbestimmung bieten daher speziell entwickelte Farbmessgeräte. Sie erfüllen dann ihren Zweck, wenn die überwiegende Mehrheit das Farbergebnis als positiv bewertet und die Messwerte reproduzierbar sind.

Diese Studie befasst sich ausschließlich mit der Farbbestimmung mittels DSG 4. In drei klinischen Versuchen soll überprüft werden, ob die Qualität der Farbbestimmung mit Hilfe eines solchen Gerätes verbessert und die herkömmliche Methode durch Farbringe abgelöst werden kann.

Im ersten Versuch wurde bei 30 Patienten, die prothetisch durch eine Keramikverblendkrone oder -brücke versorgt werden sollten, die Farbbestimmung mittels DSG 4 durchgeführt. Der Zahnersatz wurde anschließend in der Weise hergestellt, wie es von DSG 4 angegeben wurde. Gleichzeitig wurde die Zahnfarbe auch herkömmlich bestimmt. Diese beiden Werte wurden miteinander verglichen, um so eventuell aufzuzeigen, wie unterschiedlich die subjektive Farbauswahl zu der maschinell bestimmten Farbauswahl ist. Der Erfolg der prothetischen Arbeiten wurde an dem Parameter der Zufriedenheit des Patienten beurteilt.

Im zweiten Versuch wurden die hergestellten Arbeiten vor dem Einsetzen ebenfalls mit DSG 4 gemessen, und das Ergebnis mit der Messung des repräsentativen natürlichen Zahnes verglichen. Dieses sollte dazu dienen, die Fehlerquellen bei der Zusammensetzung bzw. des Mischungsverhältnisses der Verblendungen durch den Zahntechniker aufzuzeigen.

Der dritte Versuch sollte die Versuchsreihe 2 untermauern und damit überprüfen, ob DSG 4 in der Lage ist, die vorher bestimmte Farbe bei den fertigen Arbeiten wiederzuerkennen. Dieser Versuch diene somit der Ergebnisüberprüfung .

Um dieses zu ermitteln, wurden Metallplättchen mit aufgebrannter Keramik aller 16 möglichen Farben (auch der Mischfarben) hergestellt und mit DSG 4 gemessen.

5. Material und Methode

Zum Erreichen der oben genannten Studienziele fand das Farbmessgerät DSG 4 (Abb.2) der Firma Rieth in Schwäbisch Gmünd in allen drei Versuchsreihen Anwendung.



Abb.2

Das DSG 4 ist ein computergestütztes Instrument. Es besteht aus einer Auswerteeinheit, die an einem kompatiblen PC angeschlossen wird.

Auf dem Bildschirm des Computers (Abb.3) erscheint eine Praxis- und Patientenmaske, in der optional Daten der Praxis bzw. des Zahnarztes und Daten des Patienten eingegeben werden können.

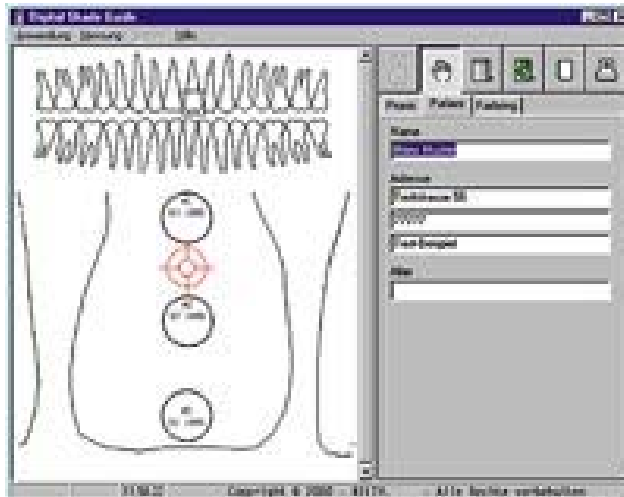


Abb.3

Vor der Farbbestimmung muss in einer zusätzlichen Farbringmaske ein Farbsystem ausgewählt werden, z.B. Vita.

Es können beliebig viele Messungen an einem Zahn durchgeführt werden.

Es ist zu berücksichtigen, dass vor jeder Messung die exakte Messposition auf dem Zahn in der erscheinenden Skizze angegeben werden muss, da die Software des DSG 4 Messwerte an Zahnhals im Zentrum und an der Schneide unterschiedlich bewertet.

Vor der eigentlichen Messung erfolgt eine Kalibrierung mit Hilfe eines mitgelieferten Testfarbplättchen.

Nach der abgeschlossenen Kalibrierung wird vor jeder Messung die Spitze der Messsonde in Flüssigkeit getaucht, so dass ein Tropfen an der Messeinheit hängen bleibt. Dieser Tropfen dient dazu, den Spalt zwischen Messsonde und Zahn zu schließen.

Die Spitze wird dabei rechtwinklig mit direktem Kontakt auf den Zahn aufgesetzt (Abb.4), erst dann wird die Messung mittels Fußschalter oder der Tastatur ausgelöst.



Abb.4

An der kreisförmigen Spitze der Messsonde befindet sich ein heller Ring, von dem Licht ausgesendet und vom Zahn reflektiert wird. Der dunkle Bereich im inneren des Ringes nimmt das reflektierte Licht auf und leitet es weiter zur Auswerteeinheit.

Weitere Angaben zur Funktionsweise, wie z.B. dem reflektierten Licht eine Zahnfarbe zugeordnet wird, wurden vom Hersteller nicht näher dargestellt.

Im letzten Schritt erscheint ein Messprotokoll in den Farbangaben des ausgewählten Farbsystems.

Hier werden möglicherweise auch Mischfarben angegeben, wie z. B. A1 80 %, A2 20 %, d.h., dass nach Herstellerangaben der Zahn hinsichtlich seiner Farbe aus einer Kombination aus den Musterzähnen Vita A1 und Vita A2 im Verhältnis 80:20 identisch ist.

Nach diesen vorgegebenen Arbeitsschritten wurden die folgenden drei Versuchsreihen durchgeführt:

In der ersten Versuchsreihe wurden 30 metallkeramisch verblendete Kronen und Brücken nach Maßgabe von DSG 4 im Rahmen des Kursus der zahnärztlichen Prothetik und des Staatsexamens der Universität Giessen hergestellt.

Die Patienten wurden vor Beginn der Präparationen in bezug auf die Zahnfarbe untersucht. Dabei wurden möglichst diejenigen Zähne vor der Präparation bestimmt, die eine Krone erhalten bzw. als Brückenpfeiler dienen sollten.

War dies im Einzelfall wegen bereits zu weit fortgeschrittener Zerstörung des entsprechenden Zahnes, zu ausgedienter Füllungen bzw. schon vorhandener Kronen nicht möglich, wurde ein entsprechender Nachbarzahn ausgewählt. Bei dieser Auswahl wurde ebenfalls berücksichtigt, dass der Nachbarzahn nicht von der Farbe des Restgebisses, etwa durch Pulpatod o. ä., abwich.

Die Farbbestimmung erfolgte an den Messstellen cervical, mesial, zentral, distal und koronal. Eventuelle Auffälligkeiten wie Schmelzrisse und dergleichen sowie Schneidekanten und der Zervikalbereich wurden manuell in dem ausgedruckten Messprotokoll ergänzt. Dieses Protokoll erhielt das Zahntechnik- Labor der prothetischen Abteilung.

Die beteiligten Zahntechniker erhielten eine Einweisung mit dem Umgang der Aufträge, d.h. die gewünschten Schichtungen bzw. den gewünschten von DSG 4 angegebenen Mischungsverhältnissen.

Zusätzlich wurden die Studenten im Unwissen über die Farbauswahl von DSG 4 beauftragt, die Zahnfarbe in der herkömmlichen Weise mittels „Vitapan® Classical“ Farbring (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen; Abb.5) zu bestimmen und für den späteren Vergleich mit dem Ergebnis von DSG 4 zu vermerken.

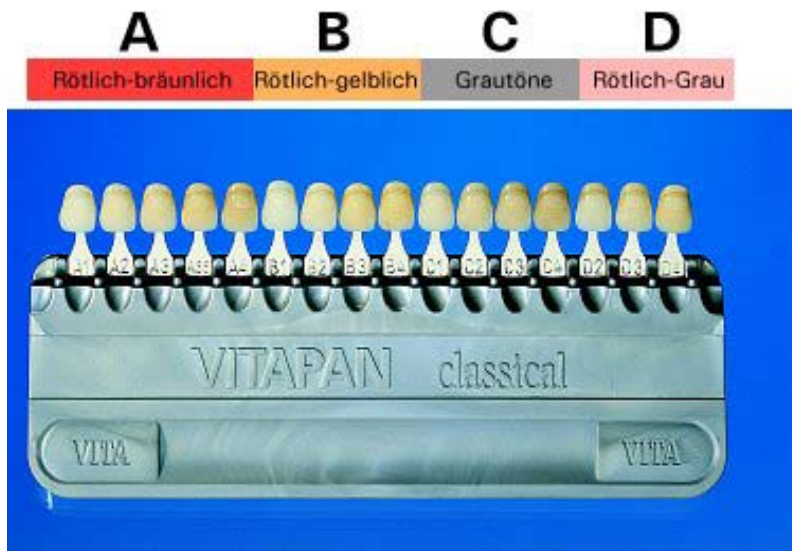


Abb.5

Im Anschluss an die Herstellung der prothetischen Versorgung wurde der Behandler, der Patient und Derjenige, der die Messung mit DSG 4 vorgenommen hatte, gebeten, visuell die Zahnfarbe des Ersatzes zum Restgebisses auf die Farbästhetik mit Hilfe eines neutralen Bewertungsbogens zu bestimmen. Auf diesem Bogen befand sich eine 10 cm lange Linie, wobei der eine Endpunkt die absolute Zufriedenheit und der andere Endpunkt die absolute Unzufriedenheit kennzeichnete. Im Anschluss der Beurteilung wurde ein Lineal auf die 10 cm lange Linie angelegt, 0 kennzeichnete die absolute Unzufriedenheit, 10 die absolute Zufriedenheit. Die gewonnenen Ergebnisse wurden daraufhin der auf herkömmlichem Wege bestimmten Farbe gegenübergestellt.

In der zweiten Versuchsreihe wurden die nach Maßgaben von DSG 4 hergestellten 30 metallkeramisch verblendeten Kronen und Brücken aus Versuchsreihe 1 im Anschluss an den Herstellungsprozess mit DSG 4 im Bezug auf die Farbe nachgemessen. Dabei mussten erneut die fünf Anteile des Zahnersatzes, die im Herstellungsprozess ebenfalls angegeben wurden (cervikal, mesial, zentral, distal und koronal), gemessen werden.

Die gewonnenen Ergebnisse erschienen in der Ausgabemaske der DSG 4 Software und wurden zur späteren Analyse ausgedruckt.

Die Versuchsreihe 3 befasste sich mit der Messung von Probekörpern bestimmter Keramikfarben.

Für die Metallkeramik wurden aufbrennbare quadratische Probeplättchen aus einer Nichtedelmetall- Legierung (NEM- Legierung) mit einer Kantenlänge von einem Zentimeter hergestellt. Auf diesen Probeplättchen (Abb.6) wurde die Metallkeramikmasse Vita Omega 900 (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) in allen sechzehn Farben von A1 bis D4 (siehe Tabelle 1) und den sechs hergestellten Mischfarben (siehe Tabelle 2) regelrecht geschichtet und aufgebrannt.

Als erstes erhielten die Metallplättchen einen Oxidbrand bei 900° C, um eine Haftung der Keramik auf den Plättchen zu ermöglichen. Des weiteren wurde ein sogenannter Waschopaquer aufgetragen und daraufhin für jede Farbe der individuelle Opaquer, bestehend aus einer Flüssigkeit und einem Pulver appliziert und gebrannt.

Im nächsten Arbeitsschritt konnten die Plättchen mit der jeweiligen Dentinmasse in den unterschiedlichen Farben überzogen werden. Dabei betrug die Schichtstärke der Keramikmassen mindestens 1,5 mm.

Diese Masse wiederum bestand aus einer Flüssigkeit und einem Pulver, welches zuvor auf einer Goldwaage abgewogen wurde, um die Gleichheit aller Proben gewährleisten zu können.

Zuletzt erfolgte ein Glanzbrand mit Hilfe einer Glasurmasse. Alle Brennvorgänge erfolgten bei 900° C.



Abb.6

Tabelle 1:

Plättchen	Farbe
1	A 1 100%
2	A 2 100%
3	A 3 100%
4	A 3,5 100%
5	A 4 100%
6	B 1 100%
7	B 2 100%
8	B 3 100%
9	B 4 100%
10	C1 100%
11	C 2 100%
12	C 3 100%
13	C 4 100%
14	D 2 100%
15	D 3 100%
16	D 4 100%

Tabelle 2:

Plättchen	Farbe 1	Farbe 2
17	A 3 50%	A 4 50%
18	D 3 50%	A 1 50%
19	A 3,5 50%	C 3 50%
20	C 2 50%	B 4 50%
21	B 1 50%	B 3 50%
22	C1 50%	D 2 50%

Nach dem Glanzbrand erfolgte eine Farbmessung unter Zuhilfenahme einer Messvorrichtung an allen Probeplättchen.

Diese Messvorrichtung sollte dazu dienen, eine exakte und unverrückbare Position der Messsonde auf den Probeplättchen, zu denen sie im rechten Winkel anlag, sicherzustellen.

Hierfür fand das Vermessungsgerät nach Ney Anwendung (Abb.7), in das die Messsonde des DSG 4 eingespannt wurde. Die Probeplättchen wurden parallel zum Standfuß des Vermessungsgerätes gelagert.



Abb.7

Nach der Kalibrierung des DSG 4 erfolgte eine Wasserapplikation in den Spalt zwischen Plättchen und Messsonde. Die Probeplättchen wurden am Schnittpunkt der Winkelhalbierenden fünfmal gemessen. Diese Farbangaben wurden dokumentiert.

6. Ergebnisse

6.1 Versuchsreihe 1 – Herstellung von prothetischen Versorgungungen nach Maßgabe von DSG 4 und zusätzliche Bestimmung der Zahnfarbe mittels Farbring mit anschließender Beurteilung auf einer Skala von 1- 10

Die erhobenen Daten, die von der EDV des DSG 4 erfasst wurden, sowie diejenigen von den Probanden angegebenen konventionell mittels Farbring bestimmten Farben wurden deskriptiv in Tabellenform (siehe Tabelle 3) festgehalten. Dazu wurde das Programm Microsoft® Word 2000 verwendet. Die statistische Bearbeitung erfolgte ausnahmslos mit Personal Computern unter Zuhilfenahme des Programms SPSS® für Windows (Release 10.0.7). Zur grafischen Darstellung wurde das Programm Microsoft® Excel benutzt.

In dieser Versuchsreihe wurden 30 prothetische Arbeiten von Studenten des 9. und 10. Semesters sowie von Absolventen des Staatsexamens hergestellt.

Da nach Ansicht und Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse davon ausgegangen werden konnte, dass eine Steigerung der Anzahl von prothetischen Arbeiten zu keinem andersartigen Ergebnis führen würde, wurde auf eine Erhöhung der Anzahl verzichtet.

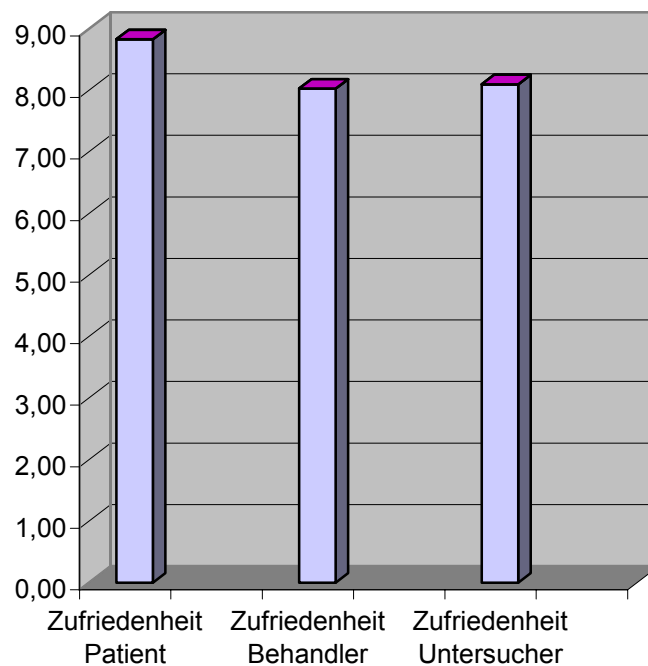
Mittels DSG 4 ergaben sich am zentralen Messpunkt der zu bestimmenden Zähne der Patienten die in der folgenden Tabelle aufgeführten Messwerte. Ihnen wird die konventionell mit Vitapan Classic Farbring gewonnene Farbe und die Zufriedenheit der Patienten, der Behandler und der Durchführenden dieser Untersuchung gegenübergestellt. Es wird in dieser Tabelle 3 nur der zentrale von DSG 4 gemessene Wert aufgeführt, da dieser Wert die Zahnfarbe weitestgehend repräsentiert, und somit eine bessere Vergleichbarkeit zur konventionellen Farbbestimmung besteht.

Tabelle 3:

Patienten Nummer	Farbe (mit DSG 4 bestimmt)		Farbe (konvent. Bestimmt)	Zufriedenheit		
				Pat	Beh.	Diss
1	C2 70%	D2 30%	A4	3	3	3
2	C1 100%	-	C2	8	8	7
3	D3 95%	C4 5%	D2	9	9	9
4	A1 100%	-	B3	9	5	7
5	C2 100%	-	C3	9	9	9
6	C4 70%	A4 30%	D3	9	8	8
7	C3 85%	D2 15%	A3,5	10	9	5
8	B2 85%	A1 15%	A3	10	9	10
9	A3 100%	-	C3	4	2	2
10	B1 60%	A1 40%	A2	10	9	10
11	A3 75%	B4 25%	A3,5	10	10	10
12	A3 75%	B4 25%	B3	8	8	6
13	A4 100%	-	A4	9	9	6
14	C4 85%	D2 15%	B2	10	10	10
15	A3 65%	A3,5 35%	B2	10	10	10
16	A3 65%	A3,5 35%	B2	10	10	10
17	C2 85%	C4 15%	C2	8	6	8
18	A1 100%	-	C2	7	6	8
19	B2 80%	A1 20%	A3	10	7	7
20	B2 75%	A1 25%	B2	10	10	10
21	A3 100%	-	D2	8	8	9
22	A3 100%	-	A3,5	10	9	10
23	A4 100%	-	C2	8	9	9
24	D4 95%	D2 5%	A3,5	10	8	7
25	D2 100%	-	B2	10	9	9
26	A3 75%	A2 25%	C2	7	8	9
27	A1 60%	A2 40%	B2	10	8	8
28	A2 95%	B3 5%	B2	10	8	8
29	B4 85%	B2 15%	B3	10	9	9
30	B3 90%	A3 10%	B3	9	8	10

Aus der folgenden Grafik 1 ist ersichtlich, dass die Patienten selbst mit ihrem neuen Ersatz, der nach Maßgabe von DSG 4 hergestellt wurde, mittelwertig mit 8,83 von 10 zu vergebenden Punkten die Zufriedenheitsskala anführten.

Grafik 1: Durchschnittliche Zufriedenheit mit dem Farbergebnis der prothetischen Arbeit



Die Behandler vergaben durchschnittlich 8,03 Punkte und der aufsichtführende Doktoranden 8,1 Punkte. Die Farbbestimmung durch DSG 4 und die des Betrachters mittels Farbring ergaben in den seltensten Fällen eine 100%ige Übereinstimmung. Eine gemeinsame Farbtendenz war dennoch häufig zu erkennen.

Die prothetische Versorgung, wie am Beispiel der in Abb.8 gezeigten Frontzahnbrücke 12 – 21 zu sehen ist, zeigt ein nach den Farbangaben von DSG 4 zufriedenstellendes Ergebnis.



Abb.8

Dabei ist anzumerken, dass besonders die Oberkieferfrontzähne repräsentativ für ein harmonisches Farbbild sind. Jedoch gibt es auch hier Unterschiede, da es leichter fällt eine Brücke von z.B. Zahn 12 - 22 oder auch nur die beiden mittleren Schneidezähne dem Restgebiss farblich anzupassen. Bei solch einer Versorgung werden leichte Farbunterschiede zum Restgebiss eher vom Patienten akzeptiert, da mehrere gleichfarbige Zähne nicht so sehr hervorgehoben werden. Schwieriger dagegen ist es, nur einen einzelnen mittleren Oberkieferschneidezahn farblich den Nachbarzähnen anzugleichen. Wie an einem Beispiel eines prothetisch zu versorgenden mittleren Schneidezahnes, der eine ausgedehnte Füllung aufwies deutlich wird. Die Abb. 9 zeigt die Ausgangssituation.



Abb. 9

Die Abb. 10 zeigt die erste Verblendkrone des Zahnes 21. Obwohl diese nur einen geringen Farbunterschied zeigt, hebt sie sich farblich besonders hervor und wurde so vom Patienten nicht akzeptiert.



Abb. 10

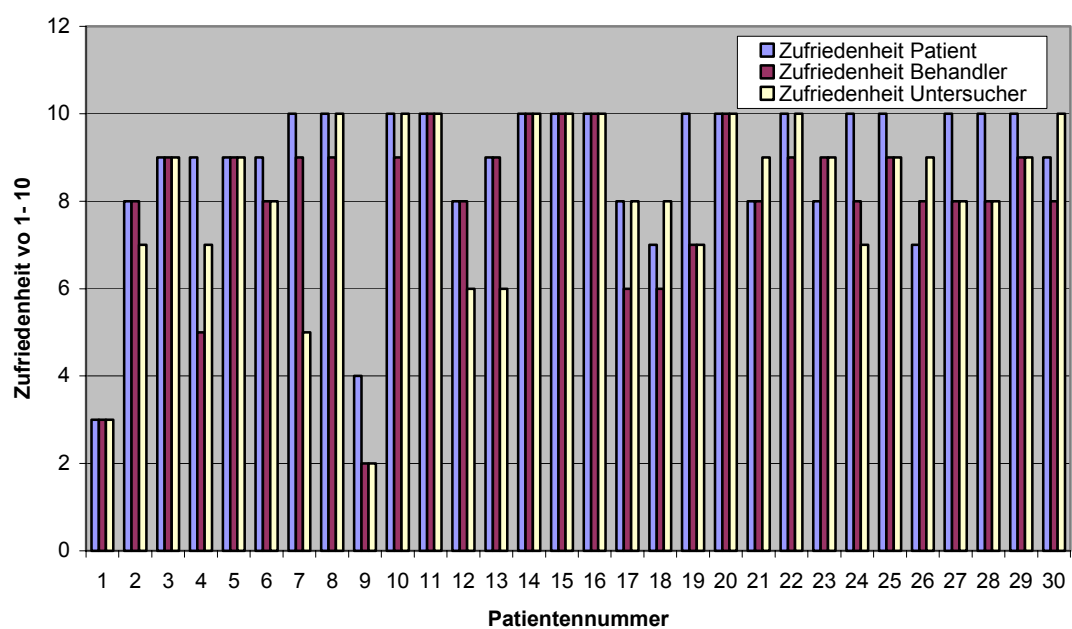
Nach einer erneuten Farbauswahl wurde die Krone neu verblendet und optimal den Nachbarzähnen angepasst, wie auch die Abb. 11 sehr deutlich zeigt.



Abb. 11

In Grafik 2 werden alle dreißig durchgeführten Arbeiten mit ihrer Beurteilung aufgeführt. Dabei wurden die Arbeiten 1 und 9 aufgrund der mangelhaften Farbübereinstimmung zum Restgebiss und der dadurch resultierenden Unzufriedenheit neu verblendet. Dabei wurden die Farbangaben aus Versuch 1, bei dem auch die Farbe von den Studenten konventionell mit dem Farbring bestimmt wurde zur prothetischen Herstellung genutzt (siehe Tabelle 3).

Grafik 2: Zufriedenheitsskala aller prothetischen Arbeiten



Deskriptive Statistik zur Grafik 2

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Zufriedenheit Patient	30	3	10	8,83	1,74
Zufriedenheit Behandler	30	2	10	8,03	1,94
Zufriedenheit Diss	30	2	10	8,10	2,07
Gültige Werte (Listenweise)	30				

6.2 Versuchsreihe 2 – Vermessung der fertiggestellten Arbeiten mittels DSG 4 und Vergleich mit den Messungen der Versuchsreihe1

Die nach den Angaben aus Versuchsserie 1 hergestellten 30 Kronen und Brücken wurden im Anschluss an die Fertigstellung durch den beauftragten Zahntechniker nochmals mit DSG 4 nachgemessen.

Im Folgenden (Tabelle 4) werden die gewonnenen Daten der Messung der fertiggestellten Arbeiten denjenigen aus Versuch 2 deskriptiv in Tabellenform gegenübergestellt. Dazu wurde das Programm Microsoft® Word 2000 verwendet. Die statistische Bearbeitung erfolgte ausnahmslos mit Personal Computern unter Zuhilfenahme des Programms SPSS® für Windows (Release 10.0.7), zur grafischen Darstellung wurde das Programm Microsoft® Excel benutzt.

Tabelle 4:

Patienten Nummer	Messpunkt	Messung am Zahn		Messung an fertiggestellter Arbeit	
1	cervikal	D4 90%	B2 10%	A4 100%	-
	mesial	D3 100%	-	A4 100%	-
	zentral	C2 70%	D2 30%	A4 100%	-
	distal	D2 90%	D3 10%	A4 100%	-
	koronal	D2 85%	D3 15%	C4 85%	A4 15%
2	cervikal	B2 100%	-	C1 80%	A1 20%
	mesial	C1 75%	D2 25%	A1 100%	-
	zentral	C1 100%	-	A1 80%	A2 20%
	distal	C3 50%	C4 50%	A1 100%	-
	koronal	B2 70%	A1 30%	A1 90%	A2 10%
3	cervikal	A4 100%	-	B4 100%	-
	mesial	A2 100%	-	B3 80%	A3,5 20%
	zentral	D3 95%	C4 5%	B4 100%	-
	distal	A4 100%	-	B3 60%	B4 40%
	koronal	D2 100%	-	B3 50%	B4 50%

4	cervikal	A1 80%	A2 20%	A4 95%	B4 5%
	mesial	A1 100%	-	B3 90%	B2 10%
	zentral	A1 100%	-	B3 95%	A1 5%
	distal	A1 100%	-	A3 70%	A2 30%
	koronal	C1 60%	A1 40%	B3 55%	A3,5 45%
5	cervikal	B4 100%	-	A4 95%	B4 5%
	mesial	C2 100%	-	D3 85%	A1 15%
	zentral	C2 100%	-	A3 100%	-
	distal	B3 100%	-	B3 55%	A3,5 45%
	koronal	C3 100%	-	D3 85%	A1 15%
6	cervikal	A4 65%	B4 35%	B4 100%	-
	mesial	D4 100%	-	D3 100%	-
	zentral	C4 70%	A4 30%	C2 60%	A3 40%
	distal	C4 90%	D2 10%	D3 95%	C4 5%
	koronal	C3 65%	D3 35%	D3 90%	A3,5 10%
7	cervikal	A3 100%	-	B3 80%	A2 20%
	mesial	C3 85%	C4 15%	A3,5 85%	A2 15%
	zentral	C3 85%	D2 15%	B3 60%	A3 40%
	distal	C2 90%	C4 10%	D3 50%	A2 50%
	koronal	C3 85%	C4 15%	D3 95%	B1 5%
8	cervikal	C1 95%	B2 5%	A3 95%	A2 5%
	mesial	B2 100%	-	A1 60%	A2 40%
	zentral	B2 85%	A1 15%	A2 85%	A3,5 15%
	distal	A1 100%	-	A2 90%	A1 10%
	koronal	B2 85%	A1 15%	A2 95%	A1 5%
9	cervikal	A3 100%	-	A3 90%	A3,5 10%
	mesial	A3 50%	D2 50%	B2 55%	A1 45%
	zentral	A3 100%	-	A2 80%	A1 20%
	distal	D3 100%	-	A2 65%	A1 35%
	koronal	A2 70%	A1 30%	A1 80%	D3 20%
10	cervikal	B3 85%	B2 15%	A2 95%	B1 5%
	mesial	B1 75%	D2 25%	A1 60%	A2 40%
	zentral	B1 60%	A1 40%	A1 60%	A2 40%

	distal	B1 85%	D2 15%	A1 55%	A2 45%
	koronal	A1 100%	-	A2 50%	D2 50%
11	cervikal	B4 100%	-	B4 100%	-
	mesial	B4 100%	-	A2 70%	A1 30%
	zentral	A3 75%	B4 25%	B3 90%	B2 10%
	distal	B3 65%	A3 35%	A2 50%	A3 50%
	koronal	B2 100%	-	A3 95%	B4 5%
12	cervikal	B4 100%	-	B3 90%	A2 10%
	mesial	A2 90%	A1 10%	A2 65%	A1 35%
	zentral	A3 75%	B4 25%	A3 80%	A2 20%
	distal	B2 80%	B4 20%	A2 90%	A3,5 10%
	koronal	A3 85%	A2 15%	A3 55%	A2 45%
13	cervikal	A4 100%	-	A4 100%	-
	mesial	A3,5 100%	-	A3,5 100%	-
	zentral	A4 100%	-	A4 100%	-
	distal	A4 100%	-	A4 100%	-
	koronal	A4 100%	-	A4 100%	-
14	cervikal	A4 85%	C4 15%	A3,5 70%	A2 30%
	mesial	C4 80%	D2 20%	D3 90%	D2 10%
	zentral	C4 85%	D2 15%	A3,5 65%	D3 35%
	distal	C4 100%	-	B3 80%	D3 20%
	koronal	C4 100%	-	D3 65%	D2 35%
15	cervikal	B4 50%	A3,5 50%	B4 55%	A4 45%
	mesial	A2 90%	A3,5 10%	A2 65%	A1 35%
	zentral	A3 65%	A3,5 35%	A4 100%	-
	distal	A1 80%	A2 20%	A2 80%	A3,5 20%
	koronal	A3 55%	A2 45%	A2 80%	A3,5 20%
16	cervikal	A3,5 95%	A2 5%	B4 100%	-
	mesial	A3 85%	A2 15%	A1 95%	A2 5%
	zentral	A3 65%	A3,5 35%	A3 75%	A3,5 25%
	distal	A2 95%	A1 5%	A2 75%	A1 25%
	koronal	A3 80%	A3,5 20%	A2 65%	A1 35%

17	cervikal	C3 65%	C4 35%	A 3,5 85%	A3 15%
	mesial	C2 75%	D2 25%	D2 100%	-
	zentral	C2 85%	C4 15%	A2 100%	-
	distal	C2 95%	C4 5%	A3 60%	A2 40%
	koronal	D2 90%	C4 10%	B1 90%	D3 10%
18	cervikal	A1 100%	-	A3,5 90%	A2 10%
	mesial	D2 100%	-	A2 70%	A1 30%
	zentral	A1 100%	-	A3 90%	A2 10%
	distal	A1 100%	-	A2 95%	A3,5 5%
	koronal	B1 100%	-	A2 95%	A1 5%
19	cervikal	A3 90%	B3 10%	D4 70%	B3 30%
	mesial	A1 100%	-	B2 100%	-
	zentral	B2 80%	A1 20%	A3 85%	B4 15%
	distal	A1 100%	-	B2 80%	B4 20%
	koronal	A1 70%	A2 30%	A3 65%	A2 35%
20	cervikal	B3 60%	B4 40%	A4 75%	B4 25%
	mesial	A1 100%	-	B2 70%	A1 30%
	zentral	B2 75%	A1 25%	A2 90%	A1 20%
	distal	A1 100%	-	A2 85%	A1 15%
	koronal	A1 100%	-	B1 100%	-
21	cervikal	A 3 90%	B3 10%	A4 100%	-
	mesial	A3 100%	-	B3 60%	A3 40%
	zentral	A3 100%	-	B3 50%	A3,5 50%
	distal	A3 100%	-	B3 60%	A3 40%
	koronal	A3,5 85%	A2 15%	A3 70%	A3,5 30%
22	cervikal	B3 80%	B2 20%	A3 65%	A4 35%
	mesial	A2 85%	B4 15%	A2 90%	A3,5 10%
	zentral	A3 100%	-	A3 80%	A3,5 20%
	distal	A3 90%	B4 10%	B3 85%	A4 15%
	koronal	B3 100%	-	A3 95%	A3,5 5%
23	cervikal	B3 70%	A3 30%	A4 100%	-
	mesial	B2 75%	D4 25%	A4 100%	-
	zentral	A4 100%	-	A3,5 50%	A4 50%

	distal	D4 80%	B2 20%	A3 70%	A3,5 30%
	koronal	A4 100%	-	B3 50%	A3 50%
24	cervikal	C3 60%	C4 40%	A4 70%	B4 30%
	mesial	C4 65%	A4 35%	B3 75%	A3 25%
	zentral	D4 95%	D2 5%	B4 100%	-
	distal	C4 60%	B4 40%	B4 100%	-
	koronal	B3 75%	B4 25%	B4 80%	A4 20%
25	cervikal	A3 65%	B2 35%	A3,5 95%	A4 5%
	mesial	B2 100%	-	B2 80%	A1 20%
	zentral	D2 100%	-	B2 70%	A1 30%
	distal	A2 100%	-	A2 85%	A1 15%
	koronal	C1 60%	D2 40%	A1 90%	A2 10%
26	cervikal	A3 100%	-	B4 55%	A4 45%
	mesial	A3 100%	-	B2 60%	A2 40%
	zentral	A3 75%	A2 25%	B4 100%	-
	distal	A3 100%	-	B4 90%	A4 10%
	koronal	A3 80%	A3,5 20%	A3 85%	A2 15%
27	cervikal	A2 100%	-	A2 60%	A3 40%
	mesial	A1 55%	B1 45%	B1 100%	-
	zentral	A1 60%	A2 40%	B2 80%	A1 20%
	distal	A1 100%	-	B1 100%	-
	koronal	D3 85%	B1 15%	A2 100%	-
28	cervikal	B2 95%	A1 5%	A2 100%	-
	mesial	A1 95%	A2 5%	A1 80%	A2 20%
	zentral	A2 95%	B3 5%	A2 85%	A1 15%
	distal	A1 95%	A2 5%	A1 65%	A2 35%
	koronal	A1 90%	D3 10%	A2 90%	A3,5 10%
29	cervikal	B4 100%	-	A4 100%	-
	mesial	A3 100%	-	A3 80%	A2 20%
	zentral	B4 85%	B2 15%	B3 60%	A3,5 40%
	distal	B4 95%	B3 5%	A3 80%	A3,5 20%
	koronal	A3 65%	A2 35%	A3 70%	A3,5 30%

30	cervikal	B4 100%	-	B4 100%	-
	mesial	B3 75%	A3 25%	B4 60%	A4 40%
	zentral	B3 90%	A3 10%	B4 100%	-
	distal	A3 100%	-	A4 85%	B4 15%
	koronal	A3 65%	A2 35%	A4 70%	B4 30%

Zur statistischen Auswertung der Übereinstimmungen der durch DSG 4 gemessenen Werte der natürlichen Zähne zu den fertigen, keramisch verblendeten Arbeiten wurden die Angaben kategorisiert.

Dazu wurde das Programm Microsoft® Word 2000 verwendet. Die statistische Bearbeitung erfolgte ausnahmslos mit Personal Computern unter Zuhilfenahme des Programms SPSS® für Windows (Release 10.0.7) und zur grafischen Darstellung wurde Microsoft® Excel benutzt.

Dabei wurden die Übereinstimmungen der Werte im Hinblick auf die gemessenen Stellen (cervikal, mesial, zentral, distal und koronal) der Zähne bzw. Kronen und Brücken betrachtet.

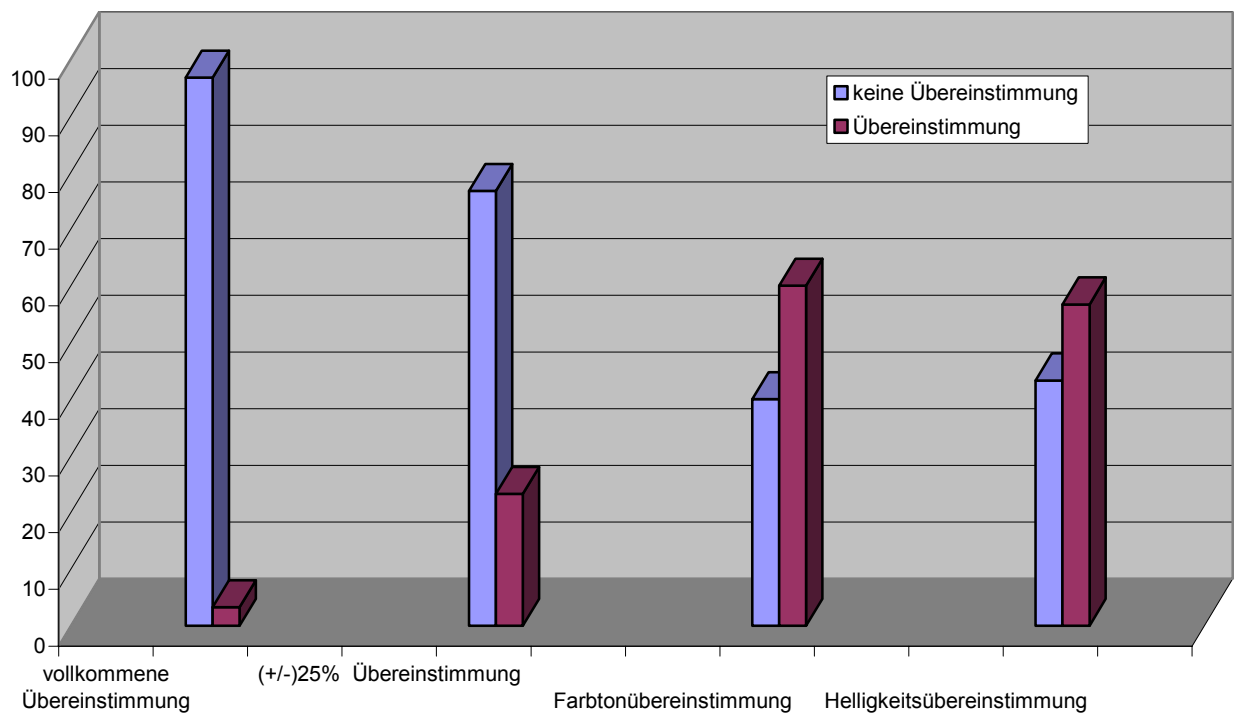
Die Messergebnisse beider Versuchsreihen wiesen deutliche Unterschiede auf. Die bestehenden Farbtendenzen wären bei einer Auswertung der vollkommenen Übereinstimmung unberücksichtigt geblieben. Der Übersicht halber wurde eine Vereinfachung dahingehend vorgenommen, dass die vollkommene Übereinstimmung als eine Übereinstimmung von $\pm 25\%$ gewertet wird.

So wurde dann wegen der Komplexität der Daten eine Übereinstimmung auch dann als positiv gewertet, wenn im Falle von zwei Messangaben eine Messung einem der angegebenen Farbwerte aus der gegenübergestellten Kategorie entsprach z. B. Messung am Zahn im distalen Bereich A1 95%, A2 5%, Messung an fertiggestellter Arbeit A1 80%, A2 20%. Eine vollkommene Übereinstimmung liegt hier zwar nicht vor, jedoch in der Kategorie der $\pm 25\%$ Übereinstimmung, Farbton und Helligkeit stimmten ebenfalls überein. Deutlich wird es an einem weiteren Beispiel: Messung am Zahn im mesialen Bereich B3 75%, A3 25% und Messung an fertiggestellter Arbeit B4 60%, A4 40%. Es gab weder eine vollkommene noch eine $\pm 25\%$ Übereinstimmung, die Farbtendenz von den B und A- Farben und die Helligkeit stimmten jedoch überein.

Im Folgenden werden alle Messorte in fünf einzelnen Grafiken dargestellt:

In der Grafik 3 wird das Ergebnis des cervikalen Messortes aufgeführt. Betrachtet man die vollkommene Übereinstimmung, liegt der Wert bei 10%, bei der $\pm 25\%$ Übereinstimmung bei 20%, in der Kategorie der Farbtonübereinstimmung betrug der Wert 56,7% und in der Helligkeitsübereinstimmung bei 60%.

Grafik 3: Cervikale Übereinstimmung



Deskriptive Statistik zur Grafik 3: Cervikaler Messbereich

c vollkommene Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	27	90,0	90,0	90,0
	Übereinstimmung	3	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

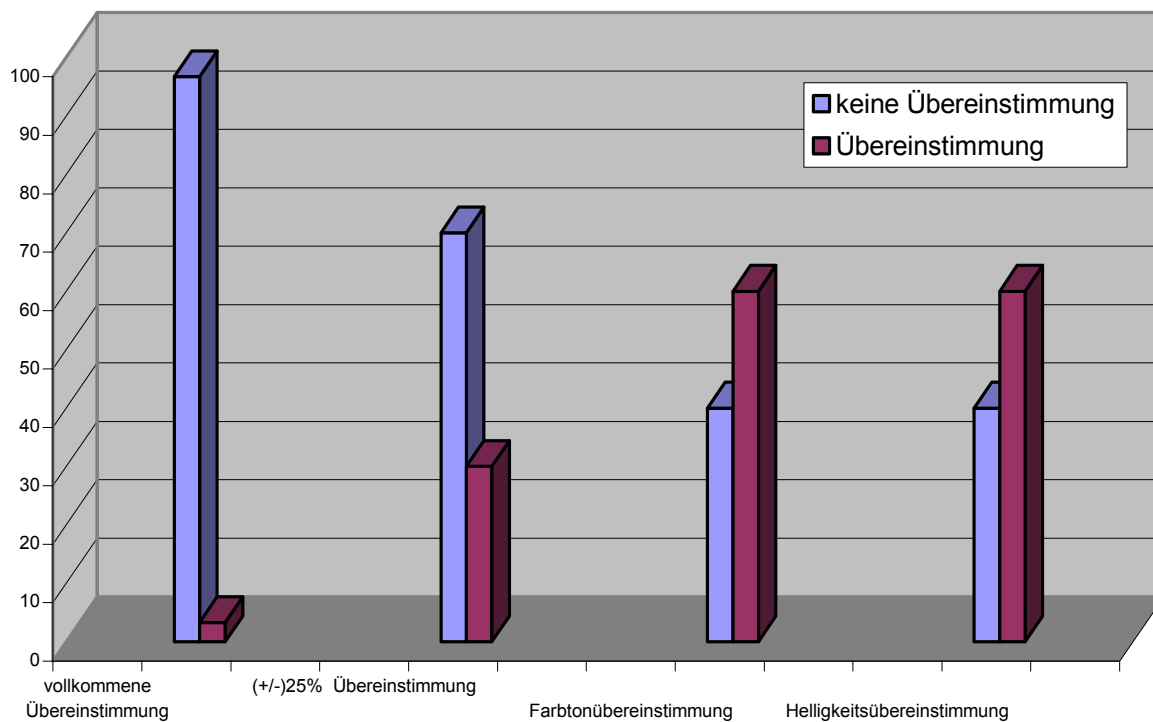
c+- 25% Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	24	80,0	80,0	80,0
	Übereinstimmung	6	20,0	20,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

c Farbtonübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	13	43,3	43,3	43,3
	Übereinstimmung	17	56,7	56,7	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

c Helligkeitsübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	12	40,0	40,0	40,0
	Übereinstimmung	18	60,0	60,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Für den mesialen Messort gibt die Grafik 4 die Werte für die vollkommene Übereinstimmung von 3,3% wieder, die Werte für die $\pm 25\%$ Übereinstimmung betragen 30%, die der Farbton- und Helligkeitsübereinstimmung jeweils 60%.

Grafik 4: Mesiale Übereinstimmung



Deskriptive Statistik zur Grafik 4: Mesialer Messbereich

m Vollkommene Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	29	96,7	96,7	96,7
	Übereinstimmung	1	3,3	3,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

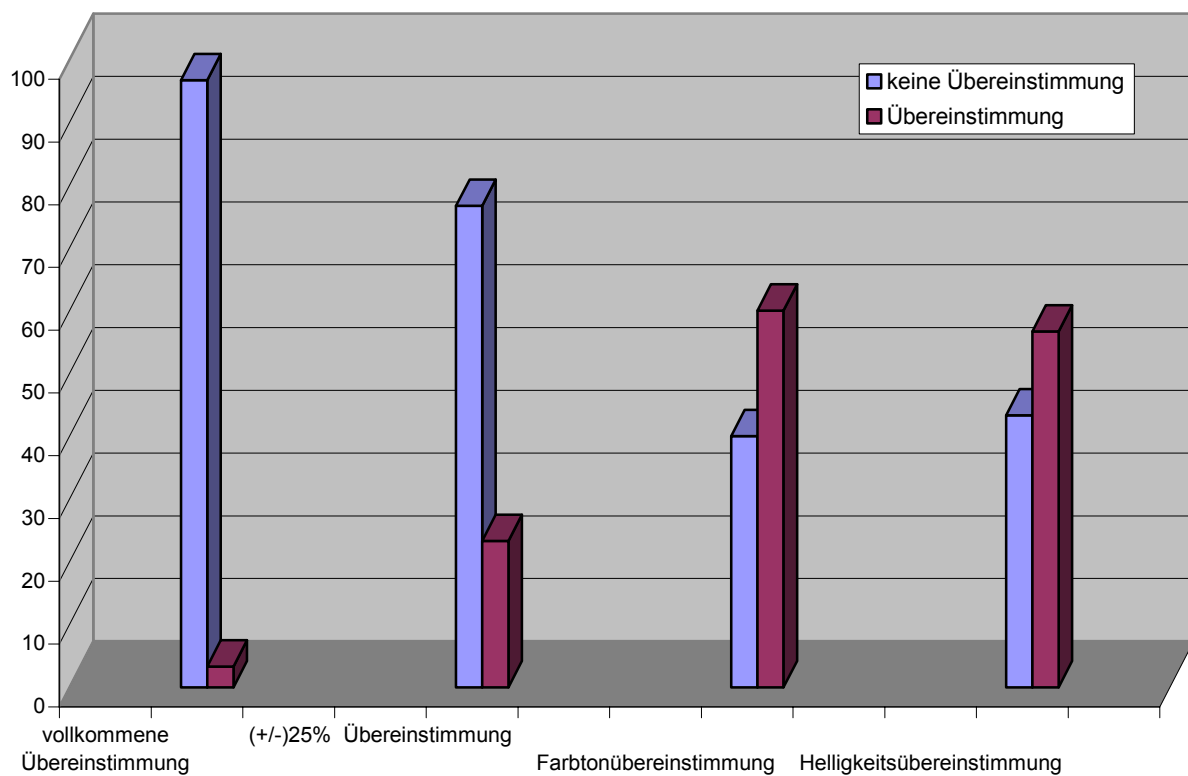
m +/- 25% Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	21	70,0	70,0	70,0
	Übereinstimmung	9	30,0	30,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

m Farbtonübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	12	40,0	40,0	40,0
	Übereinstimmung	18	60,0	60,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

m Helligkeitsübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	12	40,0	40,0	40,0
	Übereinstimmung	18	60,0	60,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Betrachtet man die Grafik 5, so sind die Werte für den zentralen Messort bei der vollkommenen Übereinstimmung ebenfalls bei 3,3%, die der $\pm 25\%$ Übereinstimmung bei 23,3%, für die Farbtonübereinstimmung 60%, die der Helligkeitsübereinstimmung lag bei 56,7%.

Grafik 5: Zentral Übereinstimmung



Deskriptive Statistik zur Grafik 5: Zentraler Messbereich

z Vollkommene Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	29	96,7	96,7	96,7
	Übereinstimmung	1	3,3	3,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

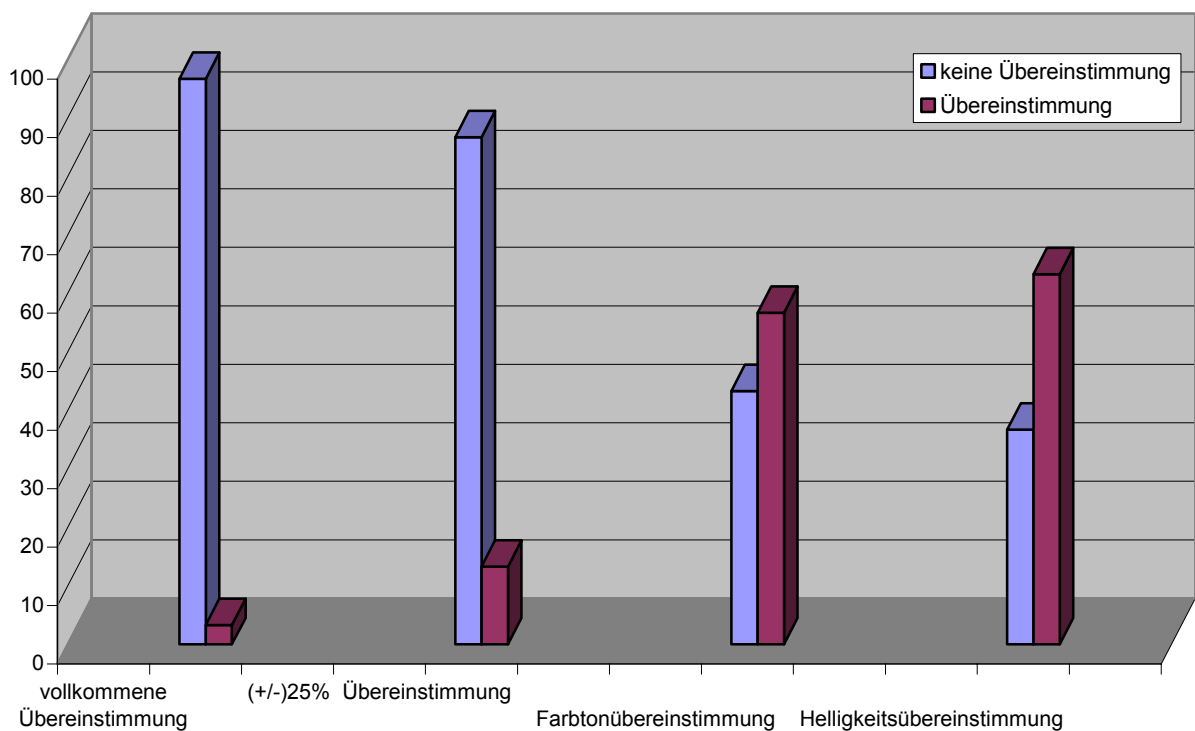
z +- 25% Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	23	76,7	76,7	76,7
	Übereinstimmung	7	23,3	23,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

z Farbtonübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	12	40,0	40,0	40,0
	Übereinstimmung	18	60,0	60,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

z Helligkeitsübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	13	43,3	43,3	43,3
	Übereinstimmung	17	56,7	56,7	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Wie in der Grafik 6 gezeigt wird, lagen die Werte für die vollkommene Übereinstimmung beim distalen Messort bei 3,3%, die der $\pm 25\%$ Übereinstimmung bei 13,3%, die der Farbtonübereinstimmung bei 56,7%, die der Helligkeitsübereinstimmung bei 63,3%.

Grafik 6: Distal Übereinstimmung



Deskriptive Statistik zur Grafik 6: Distaler Messbereich

d Vollkommene Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	29	96,7	96,7	96,7
	Übereinstimmung	1	3,3	3,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

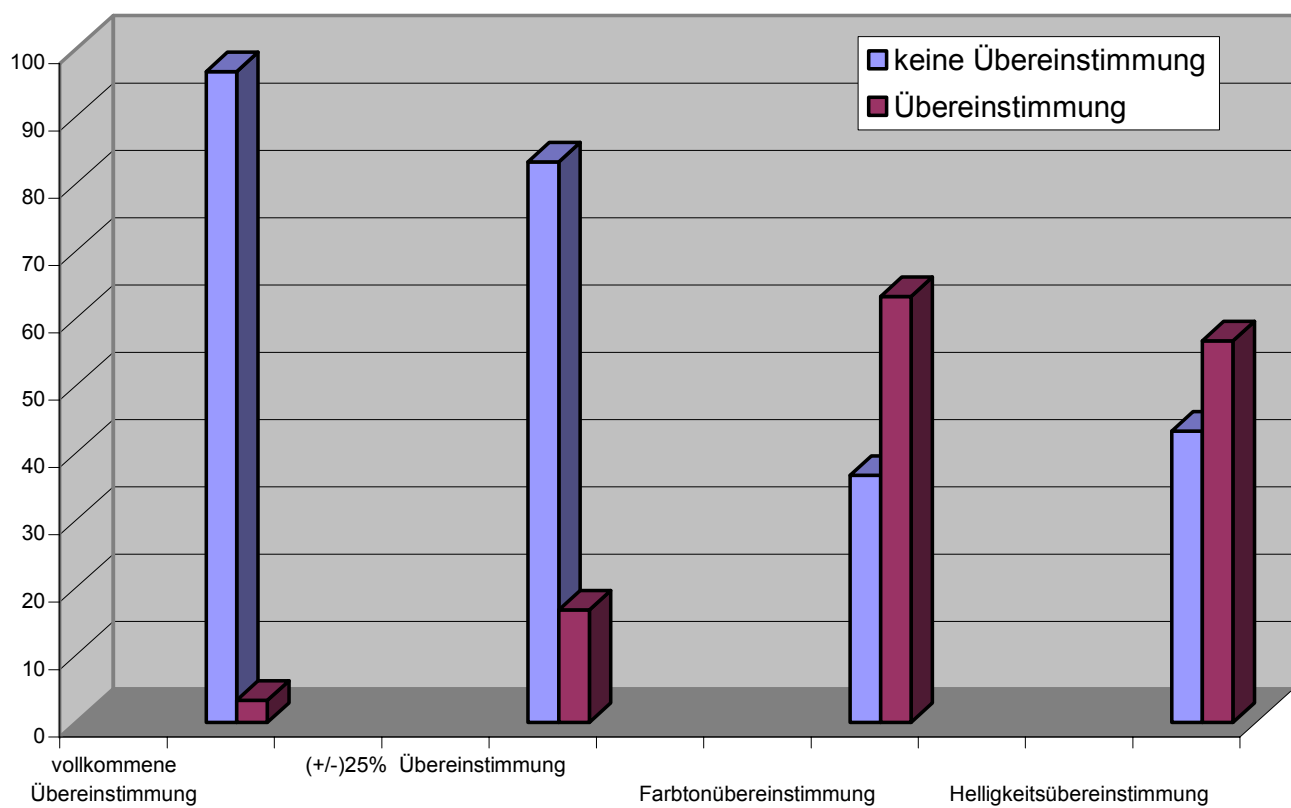
d +/- 25% Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	26	86,7	86,7	86,7
	Übereinstimmung	4	13,3	13,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

d Farbtonübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	13	43,3	43,3	43,3
	Übereinstimmung	17	56,7	56,7	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

d Helligkeitsübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	11	36,7	36,7	36,7
	Übereinstimmung	19	63,3	63,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Die in Grafik 7 dargestellten Werte des koronalen Messortes lagen bei der vollkommenen Übereinstimmung ebenfalls bei 3,3%, bei der $\pm 25\%$ Übereinstimmung bei 16,7%, bei der Farbtonübereinstimmung bei 63,3%, der Wert der Helligkeitsübereinstimmung lag bei 56,7%.

Grafik 7: Koronale Übereinstimmung



Deskriptive Statistik zur Grafik 7: Koronaler Messbereich

k Vollkommene Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	29	96,7	96,7	96,7
	Übereinstimmung	1	3,3	3,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

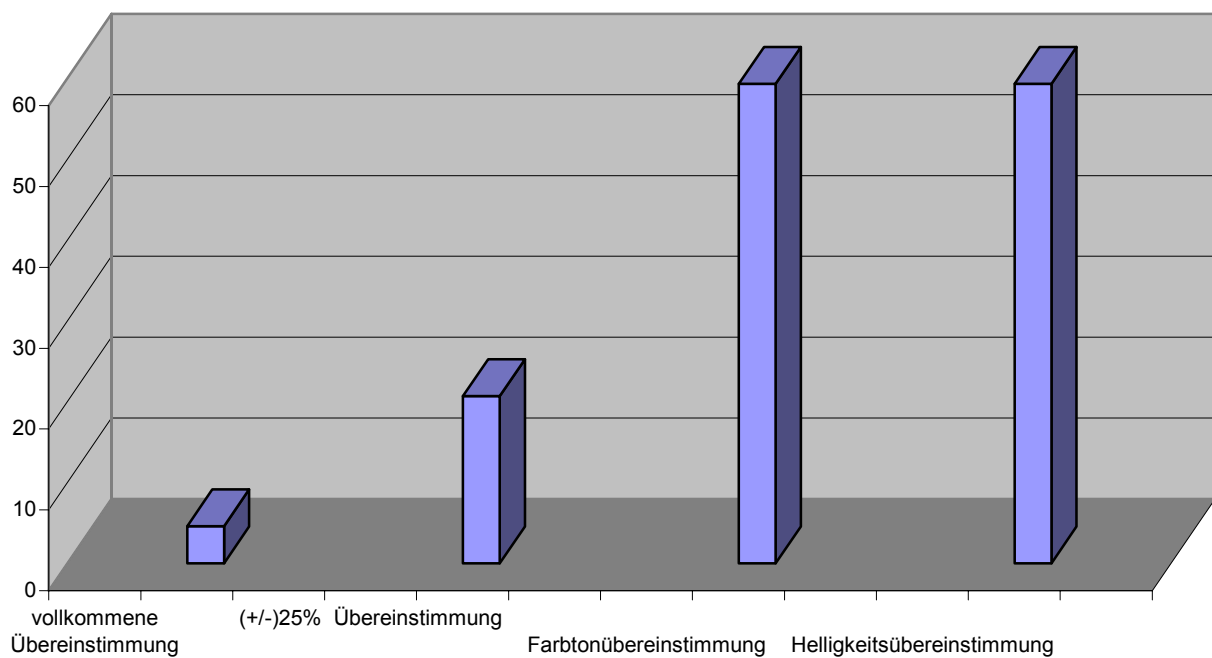
k +/- 25% Übereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	25	83,3	83,3	83,3
	Übereinstimmung	5	16,7	16,7	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

k Farbtonübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	11	36,7	36,7	36,7
	Übereinstimmung	19	63,3	63,3	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

k Helligkeitsübereinstimmung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Übereinstimmung	13	43,3	43,3	43,3
	Übereinstimmung	17	56,7	56,7	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Insgesamt betrachtet lag somit die vollkommene Übereinstimmung, wie in Grafik 8 ersichtlich, bei 4,6%, die $\pm 25\%$ Übereinstimmung bei 20,7%, die Farbtonübereinstimmung und die Helligkeitsübereinstimmung bei 59,3%.

Grafik 8: Durchschnittliche Übereinstimmung aller fünf Messorte



Deskriptive Statistik zur Grafik 8

vollkommene Übereinstimmung	,046
+ - 25% Übereinstimmung	,207
Farbtonübereinstimmung	,593
Helligkeitsübereinstimmung	,593

6.3. Versuchsreihe 3 – Messung von Probekörpern bestimmter Keramikfarben

In fünf Messserien wurden 16 Plättchen mit den Farben A1 bis D4 sowie weiteren sechs Plättchen, die mit Mischfarben beschichtet wurden hergestellt.

Hier kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass anhand einer solchen Anzahl von Messungen die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ausreichend gut beurteilt werden kann.

Die gewonnenen Messergebnisse wurden anhand des Messprotokolls des DSG 4 und dessen Softwareversion 1.5.5 auf dem Bildschirm des angeschlossenen Personal Computers dargestellt. Die Messwerte wurden abgelesen und in Tabellenform (siehe Tabelle 5) erfasst. Dazu wurde das Programm Microsoft® Word 2000 verwendet.

Tabelle 5:

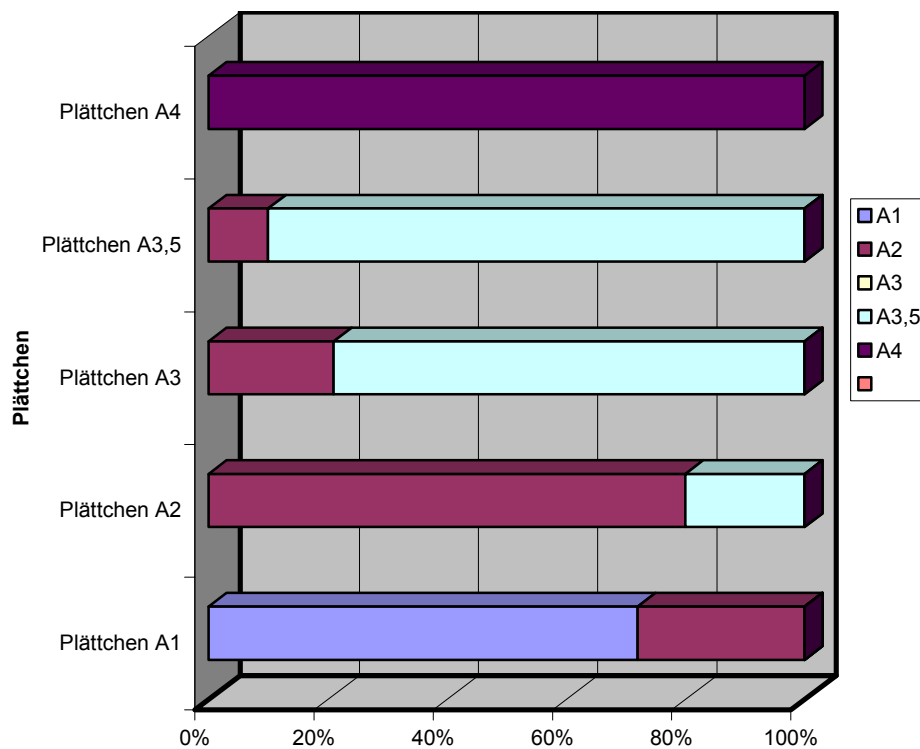
Plättchen		Messungen				
Nr.	Farbanteile	1.	2.	3.	4.	5.
1	A1 100%	A1 70% A2 30%	A1 75% A2 25%	A1 75% A2 25%	A1 70% A2 30%	A1 70% A2 30%
2	A2 100%	A2 80% A3,5 20%	A2 80% A3,5 20%	A2 80% A3,5 20%	A2 80% A3,5 20%	A2 80% A3,5 20%
3	A3 100%	A3,5 80% A2 20%	A3,5 80% A2 20%	A3,5 80% A2 20%	A3,5 80% A2 20%	A3,5 75% A2 25%
4	A3,5 100%	A3,5 90% A2 10%	A3,5 90% A2 10%	A3,5 90% A2 10%	A3,5 90% A2 10%	A3,5 90% A2 10%
5	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
6	B1 100%	B1 100%	B1 100%	B1 100%	B1 100%	B1 100%
7	B2 100%	B2 80% A1 20%	B2 80% A1 20%	B2 80% A1 20%	B2 80% A1 20%	B2 80% A1 20%
8	B3 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
9	B4 100%	B4 80% A4 20%	B4 80% A4 20%	B4 75% A4 25%	B4 75% A4 25%	B4 80% A4 20%
10	C1 100%	A2 100%	A2 100%	A2 100%	A2 100%	A2 100%
11	C2 100%	A3 70% A3,5 30%	A3 70% A3,5 30%	A3 70% A3,5 30%	A3 70% A3,5 30%	A3 70% A3,5 30%

12	C3 100%	B4 90% B3 10%	B4 90% B3 10%	B4 90% B3 10%	B4 90% B3 10%	B4 95% B3 5%
13	C4 100%	A4 70% A3,5 30%	A4 70% A3,5 30%	A4 70% A3,5 30%	A4 85% A3,5 15%	A4 85% A3,5 15%
14	D2 100%	A1 60% D3 40%	A1 60% D3 40%	A1 60% D3 40%	A1 60% D3 40%	A1 60% D3 40%
15	D3 100%	B3 75% A3 25%	B3 75% A3 25%	B3 75% A3 25%	B3 65% A3 35%	B3 65% A3 35%
16	D4 100%	B4 75% A4 25%	B4 75% A4 25%	B4 75% A4 25%	B4 75% A4 25%	B4 75% A4 25%
17	A3 50% A4 50%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
18	D3 50% A1 50%	A3,5 95% A2 5%	A3,5 95% A2 5%	A3,5 95% A2 5%	A3,5 95% A2 5%	A3,5 95% A2 5%
19	A3,5 50% C3 50%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
20	C2 50% B4 50%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
21	B1 50% B3 50%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%	A4 100%
22	C1 50% D2 50%	A3 80% A2 20%	A3 65% A2 35%	A3 60% A2 40%	A3 65% A2 35%	A3 65% A2 35%

Unter Zuhilfenahme des Programms SPSS® für Windows erfolgte die statistische Bearbeitung und zur graphischen Darstellung wurde das Programm Microsoft® Excel 2000® angewandt.

Analysiert man die gewonnenen Daten, ist in der Grafik 9 festzustellen, dass das in reinem A1 hergestellte keramisch verblendete Messplättchen von DSG 4 zu mittelwertig 72% als aus der Farbe A1 und zu 28% aus der Farbe A2 bestehend gemessen wurde. Das Plättchen aus der Farbe A2 wurde zu 80% als A2, zu 20% aus A3,5 bestehend gemessen. Für die A3- Probe ergab sich 79% A3,5 und 21% A2; für die A3,5- Probe 90% A3,5 und 10% A2 und für die A4- Probe ergab sich zu 100% auch A4.

Grafik 9: Plättchen der A- Farben

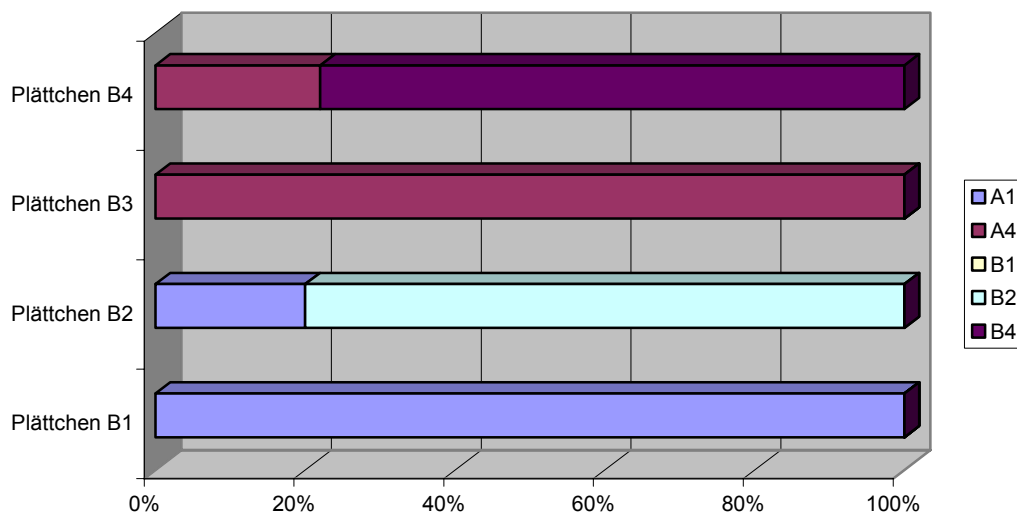


Deskriptive Statistik zur Grafik 9

Bericht						
Farbe der "Plättchen"		A1	A2	A3	A35	A4
A1	Mittelwert	,7200	,2800	,0000	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	2,739E-02	2,739E-02	,0000	,0000	,0000
A2	Mittelwert	,0000	,8000	,0000	,2000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
A3	Mittelwert	,0000	,2100	,0000	,7900	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	2,236E-02	,0000	2,236E-02	,0000
A3,5	Mittelwert	,0000	,1000	,0000	,9000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
A4	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	,0000	1,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
Insgesamt	Mittelwert	,1440	,2780	,0000	,3780	,2000
	N	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,2942	,2840	,0000	,3979	,4082

Die Messwerte der B-Töne beliefen sich, wie in der Grafik 10 dargestellt auf 100% B1 für B1; 80% B2 und 20% A1 für B2; 100% A4 für B3 und 78% B4 sowie 22% A4 für das aus B4 hergestellte Plättchen.

Grafik 10: Plättchen der B- Farben

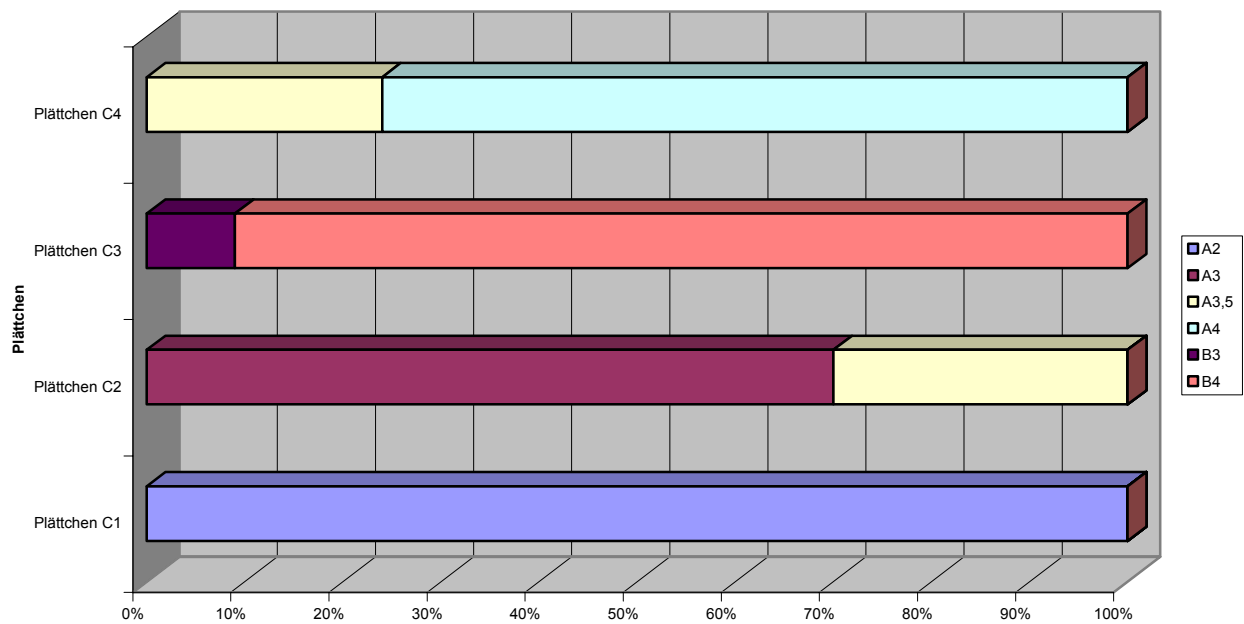


Deskriptive Statistik zur Grafik 10

Bericht						
Farbe der "Plättchen"		A1	A4	B1	B2	B4
B1	Mittelwert	,0000	,0000	1,0000	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
B2	Mittelwert	,2000	,0000	,0000	,8000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
B3	Mittelwert	,0000	1,0000	,0000	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
B4	Mittelwert	,0000	,2200	,0000	,0000	,7800
	N	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	2,739E-02	,0000	,0000	2,739E-02
Insgesamt	Mittelwert	5,000E-02	,3050	,2500	,2000	,1950
	N	20	20	20	20	20
	Standardabweichung	8,885E-02	,4221	,4443	,3554	,3468

Das aus Keramik der Farbe C1 hergestellte Plättchen lieferte A2 zu 100% als Ergebnis, das aus C2 hergestellte A3 zu 70% und A3,5 zu 30%, das aus C3 gefertigte B4 zu 91% und B3 zu 9%. Das C4- farbene Plättchen lieferte zu 76% A4 und zu durchschnittlich 24% A3,5, so auch ersichtlich in der Grafik 11.

Grafik 11: Plättchen der C- Farben

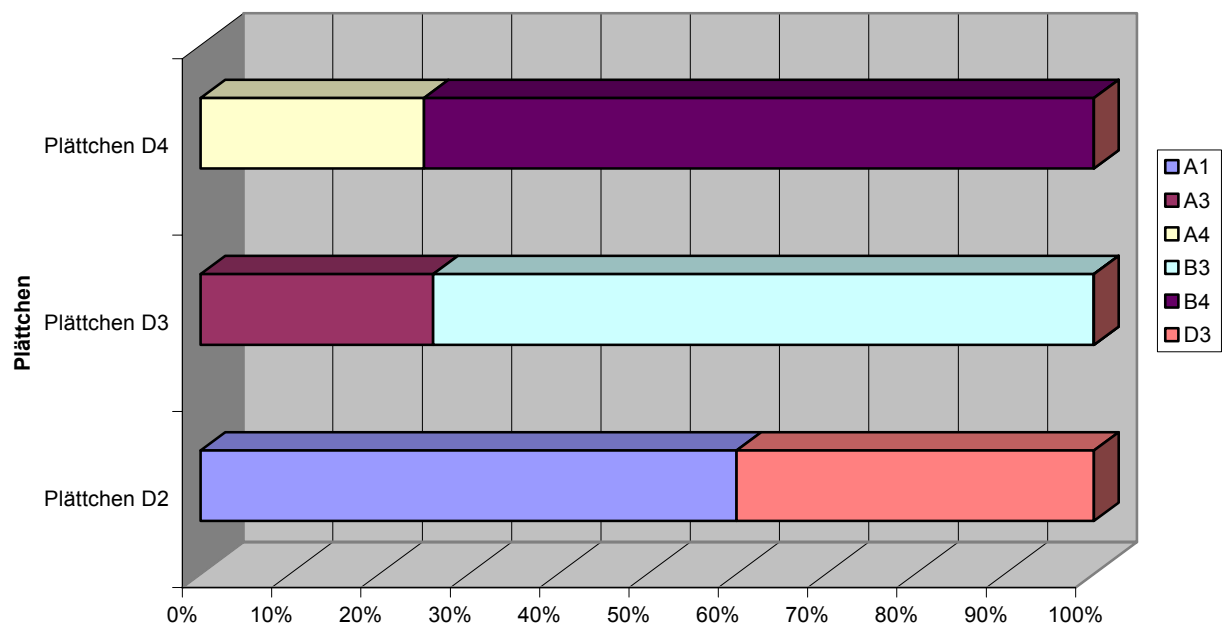


Deskriptive Statistik zur Grafik 11

Farbe der "Plättchen"		A2	A3	A35	A4	B3	B4
C1	Mittelwert	1,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
C2	Mittelwert	,0000	,7000	,3000	,0000	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
C3	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	,0000	9,000E-02	,9100
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	2,236E-02	2,236E-02
C4	Mittelwert	,0000	,0000	,2400	,7600	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	8,216E-02	8,216E-02	,0000	,0000
Insgesamt	Mittelwert	,2500	,1750	,1350	,1900	2,250E-02	,2275
	N	20	20	20	20	20	20
	Standardabweichung	,4443	,3110	,1452	,3397	4,128E-02	,4044

Die Proben der Farbgruppe D, wie die Grafik 12 deutlich macht ergaben für D2 60% A1 und 40% D3; für D3 71% B3 und 35% A3; für D4 75% B4 und 25% A4.

Grafik 12: Plättchen der D- Farben

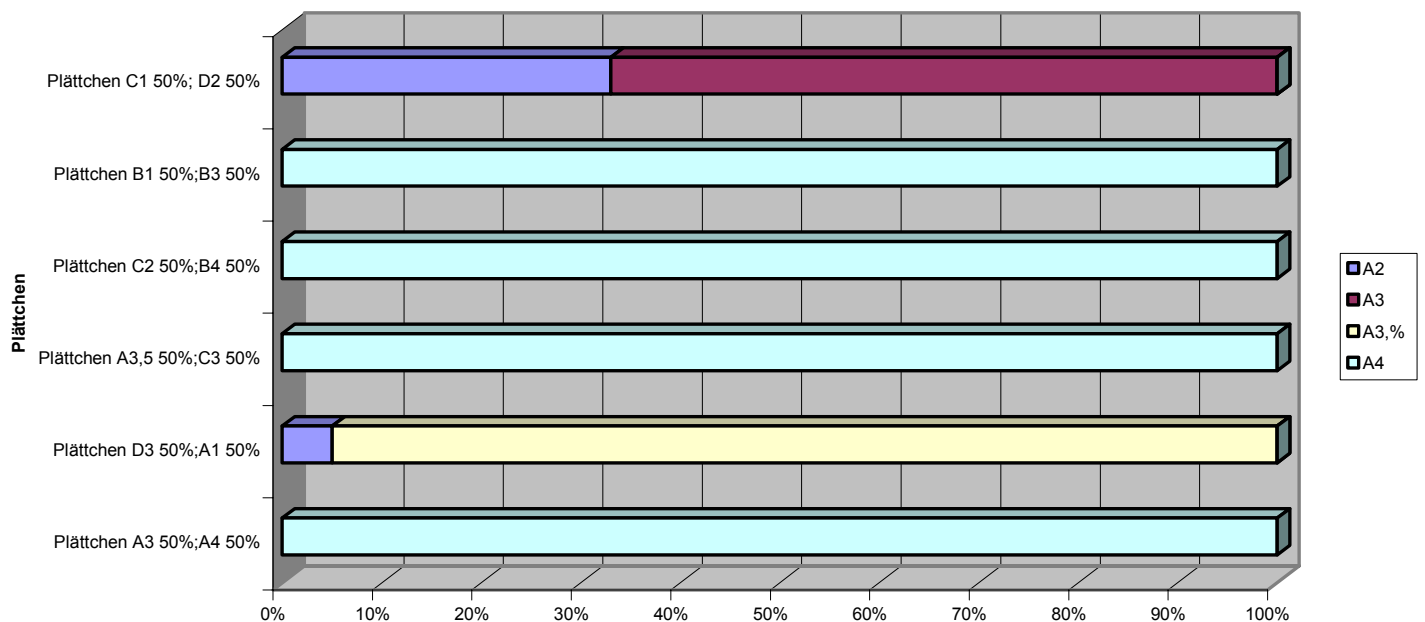


Deskriptive Statistik zur Grafik 12

Bericht							
Farbe der "Plättchen"		A1	A3	A4	B3	B4	D3
D2	Mittelwert	,6000	,0000	,0000	,0000	,0000	,4000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
D3	Mittelwert	,0000	,2500	,0000	,7100	,0000	,0000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	5,477E-02	,0000	,0000
D4	Mittelwert	,0000	,0000	,2500	,0000	,7500	,0000
	N	5	5	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
Insgesamt	Mittelwert	,2000	8,333E-02	8,333E-02	,2367	,2500	,1333
	N	15	15	15	15	15	15
	Standardabweichung	,2928	,1220	,1220	,3477	,3660	,1952

Die je zur Hälfte aus zwei Mischfarben hergestellten Probekörper lieferten für die aus A3 und A4 hergestellte Probe ein mittleres Ergebnis von 100% A4. Die aus D3 und A1 gefertigte A3,5 zu 95% und A2 zu 5%. Die Probe aus den Farben A3,5 und C3, die aus C2 und B4, sowie diejenige aus B1 und B3 bestimmte DSG 4 zu 100% als A4. Die letzte, aus C1 und D2 hergestellte Probe, wurde zu mittelwertig aus 67% A3 und 33% A2 bestehend, wie in der Grafik 13 angegeben.

Grafik 13: Plättchen der Mischfarben



Deskriptive Statistik zur Grafik 13

Bericht					
Farbe der "Plättchen"		A2	A3	A35	A4
A3 50%; A4 50%	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	1,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000
D3 50%; A1 50%	Mittelwert	5,000E-02	,0000	,9500	,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000
A3,5 50%; C3 50%	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	1,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000
C2 50%; B4 50%	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	1,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000
B1 50%; B3 50%	Mittelwert	,0000	,0000	,0000	1,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	,0000	,0000	,0000	,0000
C1 50%; D2 50%	Mittelwert	,3300	,6700	,0000	,0000
	N	5	5	5	5
	Standardabweichung	7,583E-02	7,583E-02	,0000	,0000
Insgesamt	Mittelwert	6,333E-02	,1117	,1583	,6667
	N	30	30	30	30
	Standardabweichung	,1259	,2555	,3601	,4795

Zusammenfassend kann man sagen, dass das DSG 4 bei den aus den A- und B-Farbtönen hergestellten Plättchen in allen Messungen den richtigen Farbanteil zu mindestens 72 % identifiziert hat. Bei den hergestellten Plättchen der C- und D- Farben konnte das DSG 4 keine der Farben eindeutig der jeweiligen Farbreihe bzw. Farbe zuordnen.

7. Diskussion

Ziel dieser Studie war es, die Vor- und Nachteile des Farberkennungsgerätes DSG 4 der Firma Rieth zu überprüfen mit der Fragestellung, ob dieses System die herkömmliche Art der Farbbestimmung mittels Farbringen verbessern oder sogar ersetzen kann, d.h. ob die objektiven Fehlerquellen des Farbbetrachters mit diesem System auszuschalten sind.

In der Versuchsreihe 1- Herstellung von prothetischen Versorgungen nach Maßgaben von DSG 4 und zusätzliche Bestimmung der Zahnfarbe mittels Farbring mit anschließender Beurteilung auf einer Skala von 1- 10- ist auffällig, dass es in den seltensten Fällen eine 100%ige Übereinstimmung bei der Farbauswahl zwischen DSG 4 und der Farbauswahl mittels Farbring durch die Studenten gab. Diese Feststellung ist jedoch nicht auf die Qualität des Farbmessgerätes zu beziehen, da es bei der Farbauswahl mittels Farbring, wie schon von einigen Autoren beschrieben, Unterschiede in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Berufserfahrung und Farbtüchtigkeit bei der Farbauswahl gibt [19,29].

Bei einer Untersuchung, in der 37 Zahnärzte die Zahnfarbe bestimmen mussten, wurde deutlich, dass auch hier nur selten inter- und intraindividuelle Übereinstimmungen erzielt wurden [19].

Diese Problematik wurde in der parallel laufenden Studie, bei der die Reproduzierbarkeit von DSG 4 überprüft werden sollte, anschaulich. Dabei wurde unter anderem die Zahnfarbe des Zahnes 21 bei zwei Personen von 50 Betrachtern beurteilt. Es traten erhebliche Unterschiede der angegebenen Farbe auf, in wahrscheinlicher Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildungsgrad (Student, Zahnarzt, Zahnarzthelferin).

Dennoch war nach der Herstellung der prothetischen Versorgung nach den Vorgaben von DSG 4 besonders bei den Patienten die Zufriedenheit sehr hoch (8,83). Aber auch die Studenten, die bei der Farbauswahl mittels Farbring eine abweichende Farbe zu DSG 4 angegeben hatten, waren mit dem Endergebnis zufrieden (8.1). Dass die Zufriedenheit aller drei Gruppen bei 8,32 lag, und dass nur zwei prothetische Arbeiten von 30 korrigiert werden mussten, kann man als ein positives Ergebnis für das DSG 4 werten.

Fraglich bleibt, ob es zu einer anderen Zufriedenheit gekommen wäre, hätte man die prothetischen Arbeiten nach der von den Studenten mittels Farbring bestimmten Farbe hergestellt.

In der Versuchsreihe 2- Messung der fertiggestellten Arbeiten mittels DSG 4 und Vergleich mit den Messungen der Versuchsreihe1 - wurden die hergestellten Arbeiten nach DSG4 anschließend einer erneuten Farbmessung unterzogen.

Interessant war es festzustellen, ob und in welchem Umfang das Gerät in der Lage war, seine zuvor gemessenen Farbangaben wiederzuerkennen und ob es überhaupt möglich ist, dass die komplexen Angaben des Farbmessgerätes in eine keramische Verblendung umgesetzt werden können.

Insgesamt betrachtet, gab es zwei Ergebnisse. Das erste Ergebnis lag deutlich unter den Erwartungen, die an das DSG 4 gestellt wurden. Selbst im zentralen Bereich lag die vollkommene Übereinstimmung bei nur 3,3%.

Um einen Zusammenhang zwischen den beiden Versuchsreihen herstellen zu können, wurde die Auswertung dahingehend verändert, dass Farb- und Helligkeitstendenzen bei einer Übereinstimmung von $\pm 25\%$ schon als Erfolg gewertet wurden.

Eine mögliche Ursache dieser Abweichungen liegt wahrscheinlich im Herstellungsprozess der Keramikverblendungen. Dabei scheint es schwierig zusein, die exakten Mischungsverhältnisse, die Übergänge und den genauen Ort der Applikation nach den gestellten Maßgaben von DSG 4 zu erfüllen. Genauso schwierig stellt sich der Messprozess der fertigen Arbeiten dar. Die Grenzen der vorgegebenen Messpunkte konnten nicht exakt eingehalten werden, da man sich nur nach den groben Einteilungen cervical, mesial, zentral, distal und koronal richten kann. Als weitere mögliche Fehlerquelle ist die Zusammensetzung der Keramik zu nennen, die eine andere Beschaffenheit und eine andere Lichtreflektion aufweist als ein natürlicher Zahn, was zu Fehlinterpretationen führen könnte.

Dies zeigt eine Studie, die sich mit dem Einfluss verschiedener Schichtstärken und das wiederholte Brennen auf die Farbe der Keramik spektrophotometrisch untersucht. Das wiederholte Brennen zeigte hierbei keinen direkten Einfluss auf die Farbe, jedoch stieg die Farbqualität mit zunehmender Schichtstärke an [49].

Diese Aussage wurde anhand einer Studie mit dem Spektralfarbmessgerät Castor®, die die Farbbestimmung bei Dentalkeramiken untersuchte, bestätigt.

Dabei wurden keramischverblendete Plättchen hergestellt, die mit zunehmender Probenstärke eine Veränderung der Helligkeitswerte anzeigte. Ab einer Schichtstärke von 1,4 mm hatte der Metalluntergrund keinen Einfluss mehr, so dass nur die Eigenhelligkeit zum tragen kam [4,27].

Diese Erkenntnis könnte ein Grund dafür sein, dass die Ergebnisse solche Differenzen aufweisen, da bei der Verblendung in dieser Studie unterschiedliche Schichtstärken vorhanden waren.

Auch eine weitere Studie, die sich mit der Oberflächenbeschaffenheit auseinandersetzt, zeigt, dass dies ebenfalls Einfluss auf die Farbqualität hat.

Legt man den Bewertungsmaßstab von einer $\pm 25\%$ gen Übereinstimmung bei einer zweiten Auswertung zugrunde, finden zwar die beschriebenen Fehlerquellen Berücksichtigung, das Ergebnis liegt letztendlich aber nur bei 20,7 %.

Interpretiert man beide Auswertungen, kommt man zu dem Resümee, dass das DSG 4 in diesem Versuch die nach seinen Vorgaben hergestellten Arbeiten nicht wieder erkannt hat.

In der letzten Versuchsreihe – Messungen von Probekörpern bestimmter Keramikfarben – wurde auf die o.g. Fehlerquellen wie Schichtstärke, wiederholtes Brennen, Oberflächenbeschaffenheit Bezug genommen [4,27, 49,72].

Das DSG 4 sollte dabei nur reine Farben und später auch Mischfarben ohne Übergänge an hergestellten Probestplättchen, wie die Abb. 6 zeigt, zuordnen. Das Ergebnis macht deutlich, dass nur bei den aus den A- und B- Farben hergestellten Plättchen ein richtiger Farbanteil von mindestens 72% erkannt wurde. Sowohl aus den C- und D- Farben als auch aus den Mischfarben hergestellten Plättchen konnte DSG 4 in keinem Fall einen richtigen Farbanteil zuordnen.

Ein mögliche Ursache könnte an der größeren Anzahl von beigemischten Oxidpigmenten in der Keramik der dunkleren C- und D- Farben sein. Eine Studie stellte dar, wie sich die Farbe von Keramiken durch Beimischung von metallischen Oxidpigmenten den natürlichen Zähnen anpassen lassen [57].

Die Ergebnisse der gemessenen Keramiken der fertigen prothetischen Versorgung und der Plättchen lassen den Rückschluss zu, dass das DSG 4 eventuell bei natürlichen Zähnen ebenfalls nur Farben der A- und B- Reihe besser identifiziert. Diese Aussage konnte jedoch in diesen Versuchsreihen nicht eindeutig zum Ausdruck gebracht werden.

Zusammenfassend lässt sich dann sagen, dass dieses Farbmessgerät sicherlich eine Weiterentwicklung in der Zahnfarbbestimmung darstellt. Durch seine leichte Handhabung ist es möglich, nahezu beliebig viele Stellen eines Zahnes zu untersuchen. Durch die gewonnenen Messwerte entsteht für jeden Zahn ein individuelles Messprotokoll, welches die Charakteristik eines Zahnes in all seinen Farbnuancen widerspiegelt. Somit kann die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker verbessert werden.

Anhand der Versuchsreihen wird jedoch deutlich, dass je mehr Messwerte von einem Zahn erstellt werden, die Umsetzung in eine prothetische Versorgung für den Zahntechniker umso schwieriger erscheint. Daher sollte ein Farbwert, der für den jeweiligen Zahn repräsentativ ist, besonders gekennzeichnet werden, und die restlichen Farbangaben sollen als zusätzliche Anregungen für den Zahntechniker dienen.

Unter diesen Prämissen kann man dieses Farbmessgerät als eine Alternative zur herkömmlichen Methode der Zahnfarbbestimmung sehen.

Für Personen, die Unsicherheiten in Bezug auf die Farbwahl oder eine Farbfehlsichtigkeit haben, und um weitere Fehlerquellen auszuschließen, wie z.B. Lichteinflüsse, kann das DSG 4 ein geeignetes Hilfsmittel sein.

Ob es die herkömmliche Methode mittels Farbringen dennoch ersetzen kann, bleibt dahingestellt.

Zu dem wurde festgestellt – wenn dies auch nicht Aufgabe dieser Untersuchung war –, dass die Verwendung von DSG 4 nicht unbedingt einen Zeitgewinn darstellt. Ebenso ist die Anschaffung eines solchen Gerätes mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden.

Unabhängig welche Art der Farbbestimmung angewandt wurde, ist besonders im Frontzahnbereich ein provisorisches Einsetzen der Kronen und Brücken unverzichtbar.

8. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die klinische Anwendbarkeit des Digital Shade Guide 4 mit Hilfe von drei Experimenten zu überprüfen und herauszufinden, ob die Qualität der Farbbestimmung optimiert werden kann und ob das Gerät eine Alternative zur herkömmlichen Bestimmung der Farbe sein kann.

Das Ergebnis der ersten Versuchsreihe – Herstellung von dreissig Verblendkronen und –brücken nach den vorher ermittelten Farbangaben durch DSG 4 – zusätzlich wurden die Zahnfarben auch mit Farbringen auf herkömmliche Weise bestimmt.

Nach dem Einsetzen wurde die Zufriedenheit der Patienten mit diesen Messungen auf einer Skala von 1 bis 10 beurteilt. Dies zeigte eine durchschnittliche Zufriedenheit der Patienten von 8,83. Beim Vergleich beider Farbbestimmungsmethoden gab es eine Übereinstimmung in dreissig Fällen.

Die zweite Untersuchung – Messungen der fertiggestellten Arbeiten mittels DSG 4 und Vergleich mit den Messungen an den natürlichen Zähnen aus Versuchsreihe 1 – zeigte, dass DSG 4 nicht in der Lage war, die vorher gemessene Zahnfarbe in den hergestellten Verblendkronen und –brücken wiederzuerkennen.

In der letzten Versuchsreihe – Messung von Probekörpern bestimmter Keramikfarben - ,die durchgeführt wurde, um die Ergebnisse des zweiten Versuches zu untersuchen, war das DSG 4 zwar in der Lage, A- und B-Farben zu identifizieren, jedoch nicht die C- und D-Farben sowie Mischfarben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass DSG 4 eine Alternative zur herkömmlichen Methode darstellt. Es konnte nicht bewiesen werden, dass die traditionelle Farbbestimmung mittels Farbringen schlechter ist als die instrumentelle durch DSG 4. Aus diesem Grund sind weitere Untersuchungen nötig.

9. Abstract

The aim of this study was to prove the clinical usefulness of Digital Shade Guide 4 (DSG4) by means of three experiments.

The purpose of this examination was to find out whether quality of determination of colours with such an instrument could be optimized or if it could be an alternative to the conventional method with the help of shade guides.

The result of the first experiment – production of thirty denture teeth with specifications of DSG4 and additional review of teeth colour by means of shade guides and following appraisal on a scale from 1 to 10 – showed that the satisfaction of the patients was average at 8,83.

The second experiment – measurements of the completed works with the help of DSG4 and comparison to experiment one – came to the conclusion that DSG4 was not able to recognize its before measured teeth shades of the manufactured esthetic restorations.

In the last experiment which was done for examination of results in experiment number two – measurements of metal-backed ceramic samples in certain teeth colours – DSG4 was able to allocate the largest part of a- and b-colours; however the allocation of c-,d- and mixed colours was not satisfying as the instrument did not recognize any of it at all.

As a summary it was discovered that the above mentioned method with DSG4 constitutes an alternative to the using of shade guides.

It could not be verified that the traditional kind of shade matching is worse than using DSG4 although further research will be necessary.

10. Literatur

1. Anusavice, K.; Baratte, A.; Moorehead, J.
Color/Shade matching performance of dental students and
faculty dentists
J Dent Res 74, 235 (1995)
2. Bangston, L.K. and Goodkind
The conversion of Chromascan designation to CIE tristimulus
J Prosthet Dent 48: 611, 1982
3. Barna, GJ.; Tayler, JW.; King, GE.; Pellen, G.
The influence of selected light intensities on color perception within the
color range of natural teeth
J Prosthet Dent 1981; 46: 450- 3
4. Baumann, M.A.; Schifferdecker, B.
Farbbestimmung bei Dentalkeramiken
Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin 104, 423- 429 (1994)
5. Bergen, SF.
Color education for the dental profession (Master's thesis)
New York University College of Dentistry, 1975
6. Billmeyer, FW., Saltzman, M.
Principles of color technology. 2nd ed
New York: John Wiley & Sons, 1981; 1- 10

7. Bos, H.
Die aufgemalte und/ oder integrierte Anwendung des DTC-Farbsystems
Die Zahntechnik 44, 113- 131 (1986)
8. Brodbeltb, RHW.; O'Brian, WJ.; Fan, PC.
Translucency of dental porcelains
J Dent Res 59: 70- 75 (1985)
9. Broschmann, Dieter; Velhagen, Karl
Tafeln zur Prüfung des Farbsinnes
28. Aufl., 1989 Georg Thieme Verlag Stuttgart
10. Clark, EB.
Analysis of tooth color
J Am Dent Assoc. 1931;18 2093- 2103
11. Clark, EB.
The color problem in dentistry
Dent Digest 1931; 499- 509
12. Clark, EB.
The tooth clark color
Den Mag and oral topics 1933; 50:139- 52
13. Clarke, FJJ.
Problems of spectrofluorimetric standards for reflection and
colourimetric use
Teddington: National Physical Laboratory Report MOM 12, 1975
14. Clarke, FJJ.
Measurement of colour of human teeth.
In: McLean JW, ed. Dental Ceramics
Chicago: Quintessence Publishing Co Inc, 1983: 441- 78

15. Cook, WD.; Mc Aree, DC.
Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition
J Biomed Mater Res 1985, 19: 469- 88
16. Commission Internationale de l'Eclairage. Colorimetry.
Official recommendations of the CIE
Paris:CIE, 1970, publication
17. Commission Internationale de l'Eclairage
Radiometric and photometric characteristics of materials and
their measurement
Paris: CIE, 1977, publication 38
18. Committee on Colorimetry, O.S.A.
The science of color
Washington, D.C., 1963, Optical society of America, pp 321- 326
19. Culpepper, W D.
A comparative study of shade matching procedures
J Prosthet Dent 1970: 24:166- 73
20. Davidson, HR.; Freide, E.
The size of acceptable color differences
J Opt Soc Am 1953; 43- 581- 9
21. DIN 6174
Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach
der CIE- Formel
Deutsches Institut für Normung Benth Verlags- GMBH, Berlin (1983)
22. DIN 54004
Farbechtheit von Textilien
Deutsches Institut für Normung, Benth Verlags- GmbH, Berlin (1983)

23. Donahue, J. L.; Goodkind, R. J.; Schwabacher, W.B.; Aeppli, D.P.
Shade color discrimination by men and women
J Prosth Dent 65, 699-703 (1991)
24. Driscoll, WG.; Vaughan, W.
Handbook of optics. New York
Mc Graw Hill, 1978, chap 9.6.9.7.9.12
25. Ecker, GA.; Moser, JB.
Visual and instrumental discrimination steps between two
adjacent porcelain shades
J Prosth Dent 58: 256- 291 (1987)
26. Faber, F.J.
Einfluss der Transparenz auf messtechnische Bewertung der Farbe in
der Zahnmedizin
Med Diss, Köln 1989
27. Faber, F.-J.; Schlegel, G.
Visuelle und meßtechnische Zuordnung der Zahnfarbe
Dtsch. Zahnärztl. Z. 50, 661- 663 (1995)
28. Faber, F.-J.; Harften, S.
Metrische Farbunterscheidung von Dentalkeramiken in Abhängigkeit
vom Farbmessgerät
Dtsch. Zahnärztl. Z. 53, 651- 654 (1998)
29. Faber, F.-J.; Schlegel, G.
Einfluß von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf
die Zahnfarbauswahl
Dtsch. Zahnärztl. Z. 54, 281- 283 (1999)

30. Farnsworth Color Manual. Baltimore
Munsell Color Company, Inc, 1957
31. Flohmann, A.; Hielscher, W.
Farbe und Farbwahrnehmung
Lehrbuch der Zahntechnik Band 3, Quintessenz Verlag, 164-179 (1987)
32. Glick, K.
Shade selection and the introduction of an advanced shade guide
Oral Health 1998; 88:37- 39
33. Goodkind, R.J.; Loupe, M.J.
Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education
in 1988
J Prosthet Dent 1992; 67:713- 717.
34. Goodkind, R.J.; Keenan, K. M.; Schwabacher, W. B.
A comparison of Chromascan and spectrophotometric
color measurements of 100 natural teeth
J Prosth Dent 53, 105- 109 (1985)
35. Greif, H.
Lichtelektronische Empfänger
Leipzig: Akademische Verlagsanstalt Geest und Portig KG 1972
36. Grajower, R.; Revah, A.; Sorin, S.
Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth
J Prosthet. Dent. 1976; 36: 570- 9
37. Hall, N.R.; Kafalias, M.C.
Composite colour matching: The development and evaluation of
a restorative colour matching system
Aust Prosthodont J 1991; 5:47- 52

38. Hall, NR.
Tooth colour selection : The application of colour science to dental colour matching
Aust Prosthodont J 1991; 5: 41- 46.
39. Helmholtz, H.R.
Handbuch der physiologischen Optik
3.Aufl. Hamburg- Leipzig: Verlag Leopold Voss 1911
40. Hammer, P.; Berg, Ch.; Schied, M.
Erkennen - Erfassen - Reproduzieren / Die Analyse der Zahnschubstanz bezüglich Transparenz und Farbe
Quintessenz Zahntechnik 18, 1539- 1560 (1992)
41. Hegenbarth, E. A.
Monotonie oder Vielfalt - die Problematik konventioneller Farbsysteme in der Dentalkeramik
Quintessenz Zahntechnik 18, 1303- 1323 (1992)
42. Henning, G.; Lohmiller, R. M.
Probleme der Farbbestimmung in der Metallkeramik
dental- labor 30, Heft 3/82, 303- 308 (1982)
43. Heinenberg, B.J.
Chromascop- der Start in ein neues Farbsystem
Die Zahntechnik , Heft 47, 218- 221 (1990)
44. Hick, C.; Hick, A
Physiologie
2.Aufl., Gustav Fischer Verlag, 1997

45. Hohmann, A.; Hielscher, W.
Farbe und Farbwahrnehmung
Lehrbuch der Zahntechnik, Band 3,
Quintessenz- Verlag 1987
46. Horn, D.; Bulan-Brady, J.; Hicks, M.
Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade
J Endod 24, 786 (1998)
47. Ishikawawa, T.; Ohson, M.; Sikine, N.
Trieal manufacture of photoelectric colorimeter using optical fibers
Bull Tokyo Dent Coll 1969, 10: 191- 7
48. Johnston, WM.; Kao, EC.
Assessment of appearance match by visual observation and clinical
colorimetry
J Dent Res 1989; 68: 819- 822
49. Jorgenson, M. W.; Goodkind, R. J.
Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to
the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated fillings
J Prosthet Dent 42, 96- 105 (1979)
50. Kappert, H. F.; Bregler, C.
Objektivierte Farbbestimmung von Farbringzähnen und
natürlichen Zähnen
Quintessenz Zahntechnik 18, 1279- 1301 (1992)
51. Kwaragi, C.; Ishikawa, S.; Miyoshi, F.; Furukawa, K.; Ishibashi, K.
Evaluations by dentists and patients concerning the color
of porcelainfused- to- metal restorations
Dent J Iwate Med Univ 1990;15: 9- 17

52. Kreutzig, Thomas
Biochemie
9. Aufl., Gustav Fischer Verlag, 1997
53. Kuehni, FG.; Marcus, RT.
An experiment in visual scaling of small color differences
Color Res Appl 1979; 4: 83- 91.
54. Lemire, P.A.; Burk, B.
Farbe und Zahnersatz
Quintessenz, Berlin 1979
55. Lee, H.; Phelan, NF.
Computer- assisted color control of dental composite restoratives
Paper presented to American Association for Dental Research
Los Angeles: March, 1988
56. Lua, MJR.; Goodkind, RJ.; Schwabacher, WB.
Clinical evaluation of an experimental body shade based on in-vito tooth
color measurements
J Prosthodont 1992; 1: 74- 83
57. Lund, TW.; Schwabacher, WB.; Goodkind, RJ
Spectrophotometric study of the relationship between body
porcelain color and applied metallic oxide pigments
J Prosthet Dent 53, 790- 796 (1985)
58. Mc Entee, M.; Lakowski, R.
Instrumental measurement of vital and extracted human teeth
J Oral Rehabil 1981; 8: 203- 8

59. Mc Maugh, D.R.
A comparative analysis of the color matching ability of dentist,
dental students, and ceramic technicians
Aust Dent J 22, 165 (1977)
60. Miller, L.
Organizing color in dentistry
J Am Dent. Assoc 1987; 145:26° - 44°
61. Mollon, JD.
Question of sex and color
Nature 1986, 323.578- 9
62. Miyagawa, Y.; Powers, JM.
Prediction of color of an esthetic restorative material
J Dent Res 62: 581- 584 (1983)
63. Miyagawa, Y.; Powers, JM.; O'Brian, WJ.
Optical properties of direct restorative materials
J Dent Res 60: 890- 894 (1981)
64. Moser, JB. ; Wozniak, WT.; Naleway, CA.; Ayer, WA.
Color vision in dentistry: a survey
J Am Dent Assoc. 1985; 110:509- 10
65. Muia, P. J.
Die Übertragung der Eigenschaften natürlicher Zähne in die
Sprache der Keramik
Die Quintessenz der Zahntechnik 4, 453- 464 (1982)
66. Musell, AH.
A color notation 11th ed. Baltimore:
Color Co. 1969

67. Musil, R.; Kittler, H.
Ein Beitrag zur Objektivierung der Farbbestimmung in der Prothetik
Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde. 71, 477- 484 (1983)
68. Niederau, J.
Berliner Zahntechnikertag
Quintessenz Zahntechnik 18, 929- 936 (1992)
69. Nixon, RL.
How to select colors for porcelain veneers
Synerg. 1989 East Norwalk, Comm: Dental Lab Publication, Fall 1989:5
70. Nve II/06/76
Neuvereinbarung " Entwicklung eines Farbmessgerätes"
Friedrich- Schiller- Universität Jena 1981
71. Nve III/19/79
Neuvereinbarung " Bau eines Farbmessgerätes"
Friedrich- Schiller- Universität Jena 1981
72. Obregon, A.; Goodkind, R. J.; Schwabacher, W. B.
Effects of opaque and porcelain surface texture on the color
of ceramometal restorations
J Prosthet Dent 46, 330- 340 (1981)
73. O'Brien, WJ.; Boeneke, KM.; Groh, CL.
Coverage errors of two shade guides
Int J Prosthodont 1991;4: 45- 50
74. O'Brien, WJ.; Groh, CL.; Boenke, KM.
A one- dimensional color order system for dental shade guides
Dent Mater 1989;5: 371- 374

75. O'Brien, WJ.; Hemmendinger, H.; Boenke, KM.; Linger, JB.; Groh, CL.
Color distribution of three regions of extracted human teeth
Dent Mater 1997;13: 179-185
76. O'Brien, WJ.; Groh, CL.; Boenke, KM.
A new, small color difference equation for dental shade
J Dent Res 1990; 69: 1762-1764
77. O'Brien, W.J., Nelson, D. and Lorey, R.E.
The assessment of chroma sensitivity to porcelain pigments
J Prosthet Dent 49:63, 1983
78. Okubo, SR.; Kanawati, A.; Richards, MW.; Childress, S.
Evaluation of visual and instrument shade matching
J Prosthet Dent 1998; 80: 642- 648
79. Paravina, RD.
Possibilities for Improvement of the Shade Matching Clinical
Procedure (thesis)
University of Niš College of Medicine, 2000
80. Paravina, RD.
Instrumental Color Matching Methods in Dentistry
Belgrade: Andrejevic Foundation, 1999
81. Paravina, RD.; Powers, JM.; Fay, RM.
Color comparison of two shade guides
Int J Prosthodont 2002;15:73- 78
82. Pokorni, J.; Smith, V.; Verriest, G.; Pinchers, A.
Congenital and acquired color vision defects
New York: Grune and Stratton, 1979

83. Preston, JD.
Shade selection and color matching
Quintessence Int 16: 47- 58 (1985)
84. Preston, JD. and Bergen, SF.
Color matching science and dental art
St. Louis, 1980, The C.V.Mosby. Co
85. Preston, JD.; Ward, LE.; Bobrick, M.
Lighting in the dental office
Dent. Clin North Am 1978; 22: 431- 51
86. Pschyrembel
Klinisches Wörterbuch
Walter de Gruyter Verlag, 255. Aufl.
87. Reis, M.
Farbe und Ästhetik in der restaurativen Zahnheilkunde
Zm 85, Nr. 22, 46- 53 (1995)
88. Rheinholdt, WC.; Menad, JP.
Mechanized conversions of colorimetric data to Munsell Renotation
J Opt Soc Am 1960; 50: 802-7
89. Richard, J.; Goodkind, D.M.D.; M.S. and William B. Schwabacher, Ph.D.
Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements
of 2830 anterior teeth
J Prosth Dent 58, 535- 541 (1987)
90. Roll, K.A.
Colorimeter und Verfahren zum Verwenden desselben zur Herstellung
von künstlichen oder dergleichen
Offenlegungsschrift des Deutschen Bundes- Patentamtes Nr.:26 31770
Canton. Ohio 1976

91. Schmidt- Thews
Physiologie des Menschen
1997 Springer Verlag
92. Schriever, A.; Rosival, S.; Becker, J.; Heidemann, D.
Relative Farbbestimmung dentaler Werkstoffe unter
Anwendung spektraler Reflexionsmessungen
Dtsch. Zahnärztl. Zeitung 48, 167-169 (1993)
93. Schwabacher, W. B.; Goodkind, R. J.
Three- dimensional color coordinates of natural teeth compared with
three shade guides
J Prosthet Dent 64, 425- 431 (1990)
94. Seghi, RR.; Johnston, WM.; O'Brien, WJ.
Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains
J Dent Res 1989; 68:1755-1759
95. Seibt, Walter
Physik für Mediziner
Chapman & Hall Verlag, 2. Aufl. 1995
96. Setz, J.; Geis- Gerstorfer, J.; Weber, H.
Objektive Zahnfarbbestimmung / Fehlerquellen werden ausgeschaltet
dental-labor XL, Heft 4/92, 667- 670 (1992)
97. Steger, E.
Ästhetik mit dem neuen IPS- Empress Verfahren
Die Zahntechnik 47, 214- 221 (1990)

98. Solheim, T.
Dental color as an indicator of age
Gerodontology 4, 114- 118 (1988)
99. Sproull, RC.
Color matching in dentistry: Part I
The three- dimensional nature of color
J Prosthet Dent 1973; 29: 446- 24
100. Sproull RC
Color matching in dentistry: Part II
J Prosthet Dent 1973; 29: 556- 66
101. Sproull RC
Color matching in dentistry Part III
Color control
J Prosthet Dent 31: 146-154 (1974)
102. Swinson, W.E.jr.:
Verfahren und Vorrichtungen zum farblichen Bestimmen bzw.
Anpassen von Gegenständen, beispielsweise Zähnen
Offenlegungsschrift des Deutschen Bundes-
Patentamtes Nr.: 2256355;
USA- Patent Nr.: 258571 Atlanta, Georgia 1971
103. Szep, S.; Gerhardt, T.; Heidemann, D.
Objektivierte Farbbestimmung von „Schmelz- und
Dentinkompositen“ im Vergleich zur Vita- Farbpalette
Dtsch. Zahnärztl. Zeitung. 50, 217- 223 (1995)
104. Ten Bosch, JJ.; Borsboom, PCF; van der Burgt, TP; Kortsmits, WJPM
Measurement of reflectivity and color of translucent materials
Bellingham, Wash.: SPIE vol.492° COOSA 1985; 493- 9

105. Trendelenburg, W.
Der Gesichtssinn
Berlin- Göttingen- Heidelberg: Springer Verlag 1961

106. Tripodakis AP.
Shade selection in fixed prosthodontics (in Greek)
Odontostomatol Proodos 1989; 43: 539- 548

107. van der Burgt, T. P.; ten Bosch, J. J.; Borsboom, P. C. F.;
Plasschaert, A. J. M.
A New Method for Matching Tooth Colors with Color Standards
J Dent Res Vol. 64, No. 5, 837- 841 (1985)

108. van der Burgt, T. P.; ten Bosch, J. J.; Borsboom, P. C. F.;
Kortsmid, W. J. P. M.
A comparison of new and conventional methods for quantification
of tooth color
J Prosthet Dent 63, 155- 162 (1990)

109. van der Burgt, T. P.; ten Bosch, J. J.; Borsboom, P.C.F.,
Kortsmid, WJPM; Plasschaert, AJM
Colorimeter for tooth color quantification (Abstract)
J Dent Res. 1985, 64: 725

110. Weber Thomas
Memorix- Zahnmedizin
1999 Georg Thieme Verlag Stuttgart

111. Yap, AU.; Bhole, S.; Tan, KB.
Shade match of tooth- colored restorative materials based on
a commercial shade guide
Quintessence Int 1995; 26: 697- 702.

112. Yap, AU.
Color attributes and accuracy of Vita- based manufactures'
Shade guides
Oper Dent 1998; 23: 266- 271

11. Anhang

11.1 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Paul Ferger, Leiter der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Klinikums der Justus- Liebig- Universität Gießen, bin ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die intensive Unterstützung und Betreuung bei der Durchführung der Studie sehr dankbar.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei den Studentinnen und Studenten, die sich und ihre Patienten zur Verfügung gestellt haben und den wissenschaftlichen Mitarbeitern der prothetischen Abteilung für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Medizinischen Zentrums der Justus- Liebig- Universität Gießen, für deren Unterstützung.

Von ganzen Herzen möchte ich meinen Eltern Gerhard und Elisabeth Müller, die mir das Studium ermöglichten und mich dabei in allen Bereichen unterstützt und ermutigt haben, danken.

Besonderer Dank gilt meiner Freundin Jeanette Geditz, die mir mit Rat und Tat jederzeit zur Seite stand.

Abschließend danke ich meinem Freund und Kollegen Martin Kopp bei der Durchführung der praktischen Studie. Meiner Schwester Susanne Müller und meinem Freund Alexander Schleip danke ich für die hervorragende Unterstützung in computertechnischen Fragen.

11.2 Lebenslauf

Name:	Marcus Müller
Geburtsdatum:	27. September 1974
Geburtsort:	Düsseldorf
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Eltern:	Elisabeth Müller, Industriekauffrau Gerhard Müller, selbst. Schlossermeister
Schulbildung:	1981- 1985 Henri- Dunant Grundschule 1985- 1994 Geschwister Scholl Gymnasium
Freiwilliges Soziales Jahr:	1994- 1995 Lore- Agnes Haus AWO Düsseldorf
Berufsausbildung:	1995- 2001 Studium der Zahnheilkunde an der Justus- Liebig- Universität Gießen 1997 Naturwissenschaftliche Vorprüfung 1999 Zahnärztliche Vorprüfung 2001 Zahnärztliche Prüfung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus- Liebig- Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.